



**FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE KISITLI SULAMA
KOŞULLARINDA BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN
BAKTERİ (PGPB) UYGULAMALARININ ASİR
BİTKİSİNİN (*Carthamus tinctorius* L.) SU KULLANIM
ETKİNLİĞİ, VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

Hasan ER

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KUŞLU
Doktora Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı
2024
(Her hakkı saklıdır.)

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

**FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA
BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİ (PGPB) UYGULAMALARININ
ASPIR BİTKİSİNİN (*Carthamus tinctorius* L.) SU KULLANIM ETKİNLİĞİ, VERİM
VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

(Effect of The Application of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) on Water Use Efficiency, Yield and Quality Parameters of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Different Irrigation Water Quality and Deficit Irrigation Conditions)

DOKTORA TEZİ

Hasan ER

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

Erzurum
Şubat, 2024

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA BİTKİ
BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİ (PGPB) UYGULAMALARININ ASPİR
BİTKİSİNİN (*Carthamus tinctorius* L.) SU KULLANIM ETKİNLİĞİ, VERİM VE KALİTE
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Prof. Dr. Yasemin KUŞLU danışmanlığında, Hasan ER tarafından hazırlanan bu çalışma, 27/02/2024. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Recep KOTAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Danışman:	Prof. Dr. Yasemin KUŞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. İlker ANGIN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ramazan MERAL <i>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Servet TEKİN <i>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır.

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

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FCD-2022-10339

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.



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Yasemin KUŞLU danışmanlığında sunulan “Farklı Sulama Suyu Kalitesi ve Kısıtlı Sulama Koşullarında Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakteri (PGPB) Uygulamalarının Aspir Bitkisinin (*Carthamus tinctorius* L.) Su Kullanım Etkinliği, Verim ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan 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	15	30
Kuramsal Temeller	18	30
Materyal ve Metot	33	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	13	20
Sonuçlar ve Öneriler	5	20
Tezin Genel	12	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.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Hasan ER	Prof. Dr. Yasemin KUŞLU
27.2.2024	27.2.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır.	İmza: Aslı ıslak imzalıdır.

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☒ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve ... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda beni akademik bilgi ve rehberliği ile destekleyen, kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yasemin KUŞLU'ya çok teşekkür ederim.

Doktora tez izleme komitemde bulunan ve tezimin değerlendirilmesinde katkılarını sunan Sayın Prof. Dr. İlker ANGIN ve Prof. Dr. Recep KOTAN hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca bana her zaman ve her konuda destek olan ve teşvik eden annem Semra ER'e, babam Sadrettin ER'e, sevgili kardeşime, ablama ve ağabeyime sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak tez çalışmam boyunca hep yanımda olan ve desteğini esirgemeyen sevgili eşim Şenay ER'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya FCD-2022-10339 numaralı BAP projesi ile finansal destek sağlayan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hasan ER

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİ (PGPB) UYGULAMALARININ ASPİR BİTKİSİNİN (*Carthamus tinctorius* L.) SU KULLANIM ETKİNLİĞİ, VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Hasan ER

Danışman: Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

Amaç: Erzurum ilinde, 2022-2023 yılları vejetasyon döneminde gerçekleştirilen bu araştırmada, kısıtlı sulama seviyelerinde arıtılmış atık su ve temiz su ile bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB) uygulamaları Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisi üzerinde denenmiştir.

Yöntem: Çalışmada sulama seviyeleri olarak A sınıfı buharlaşma kabından okunan buharlaşma değerlerinin %0 (S0-yağışa dayalı), %25(S4), %50(S3), %75(S2) ve %100 (S1)'ü seçilmiş; arıtılmış atık su ve temiz su olmak üzere iki farklı kalitede sulama suyu kullanılmıştır. Tüm sulama konularında PGPB kompozisyonunun 0, 1, 2 ve 3 kez uygulanmasının aspir bitkisi üzerine etkileri incelenmiştir. Söz konusu uygulamaların aspir bitkisinin fizyolojik özellikleri ve verimine, ürün kalitesine, su tüketimine, toprak ve bitkinin ağır metal içeriklerine etkisi belirlenmiştir.

Bulgular: Yapılan araştırmada bitki su tüketimi değerleri her iki yıl için 235-552 mm arasında değerler almıştır. İki deneme yılında da bakteri ve sulama uygulamalarının bitki su tüketimi değerlerinin değişimi benzerlik göstermiştir. Araştırmada SPAD değerleri 45,10-76,33 arasında, stoma iletkenlik değerleri ise 40,51-121,89 mmol/m²s arasında değişmiştir. Denemede her iki yılda da su stresi ve bakteri uygulamaları arttıkça WUE ve IWUE değerlerinin artmıştır. Denemede WUE değerleri 0,27-0,56 kg/m³ arasında, IWUE değerleri ise 0,46-1,77 kg/m³ arasında değişmiştir. Bitki gelişim parametrelerinden kapsamında; bitki boyu, gövde çapı, tabla çapı, tabla sayısı ve 1000 tane ağırlık değerleri sırasıyla 78,12-107,36 cm, 6,83-10,52 mm, 20,42-28,57 mm, 10,20-14,90 adet ve 41,06-48,21 g arasında değişiklik göstermiştir. Denemede yetiştirilen aspir bitkisinin protein içeriği %12,03 ile %18,11 arasında değerler almıştır. Denemede arıtılmış atık su uygulamalarının tohum ve yağ verimine olumlu yönde katkı sağladığı etki yaptığı görülmüştür. Çalışmada sulama seviyesi miktarı ve bakteri uygulama sayıları arttıkça yağ ve tohum veriminde artış olduğu belirlenmiştir. Atık suyla sulamada bitki ve toprakta makro ve mikro elementler ile ağır metaller artmış ancak eşik değerler aşılanmamıştır.

Sonuç: İki yıl boyunca yürütülen bu çalışmada alternatif sulama suyu gereksinimini karşılamak amacıyla, yüksek su verimliliği ve bitki verimini artırmasından dolayı Erzurum İli Biyolojik Arıtma Tesisi çıkış sularının aspir bitkisinin yetiştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, kuraklık stresi koşullarında kullanılan PGPB kompozisyonun sulama suyu etkinliğini artırdığı ve bitkide su stresinden kaynaklanan verim kaybını azalttığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kısıtlı sulama, arıtılmış atık su, bitki gelişimini teşvik eden bakteri (PGPB), Aspir (*Carthamus tinctorius* L.)

Şubat 2024, 197 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

EFFECT OF THE APPLICATION OF PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA (PGPB) ON WATER USE EFFICIENCY, YIELD AND QUALITY PARAMETERS OF SAFFLOWER (*Carthamus tinctorius* L.) UNDER DIFFERENT IRRIGATION WATER QUALITY AND DEFICIT IRRIGATION CONDITIONS

Hasan ER

Supervisor: Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

Purpose: In this study, which was conducted in Erzurum province during the 2022- 2023 growing season, applications of plant growth-promoting bacteria (PGPB) with treated wastewater and fresh water were tested on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at limited irrigation levels.

Method: In the study, 0% (S0 - based on precipitation), 25% (S4), 50% (S3), 75% (S2), and 100% (S1) of the evaporation values read from the Class A Pan were selected as irrigation levels, using two different quality irrigation water, treated wastewater and fresh water. PGPB composition was applied 0, 1, 2, and 3 times in all irrigation treatments, and its effects on safflower plants were studied. The effects of these practices on the physiological characteristics and yield of the safflower plant, product quality, water consumption, and heavy metal content of the soil and plant were determined.

Findings: In the study, the two-year average value of plant water consumption ranged between 235 and 552 mm. The changes in plant water consumption values of bacteria and irrigation practices were similar in both experimental years. SPAD values ranged from 45,10 to 76,33, and stomatal conductance values were 121,89 mmol m⁻²s⁻¹. In both experimental years WUE and IWUE values increased with increasing water stress and bacterial use. The WUE values varied between 0,27 and 0,56 kg m⁻³, and the IWUE value between 0,46 and 1,77 kg m⁻³. For the plant yield parameters, plant height, stem diameter, head diameter, head number, and 1000 grain weight values varied between 78,12 and 107,36 cm, 6,83 and 10.52 mm, 20,42 and 28,57 mm, 10,20 and 14,90 pieces, and 41,06 and 48,21 g respectively. The safflower plant contains a protein content of between 12,03% and 18,11%. The treated wastewater applications have a positive effect on seed and oil yield. The study also found that increased irrigation levels and bacterial applications led to a higher yield of oil and seeds. The use of wastewater for irrigation, led to an increase in macro and microelements as well as heavy metals in plants and soil. However, the threshold values were not exceeded.

Results: In this study conducted over two years, it was concluded that the treated water from Erzurum Biological Treatment Plant can be used for the cultivation of safflower crops to meet the need for an alternative water source as it has high plant yield and water efficiency. In addition, the PGPB composition was found to increase irrigation efficiency under drought stress conditions and reduce plant yield loss caused by water stress.

Keywords: Deficit irrigation, treated waste water, plant growth-promoting bacteria (PGPB), Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

February 2024, 197 pages

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	6
Tarımda Atık Su Uygulamalarının Etkileri.....	6
Tarımda Kısıtlı Sulama Uygulamalarının Etkileri	19
Tarımda Bitki Büyümesine Teşvik Eden Bakterilerin (PGPB) Etkisi	28
MATERYAL VE METOT.....	38
Materyal	38
Deneme alanı.....	38
Araştırma alanının iklim özellikleri	39
Araştırma alanının toprak özellikleri	40
Sulama suyu kaynakları	42
Damla sulama sistemi	42
Araştırmada kullanılan bitki çeşidi ve özellikleri	43
Bakteri izolatları.....	44
Metot	45
Deneme deseni	45
Toprak hazırlığı ve ekim	47
Sulamada uygulanan sulama suyu miktarları.....	49
Bakteri solüsyonlarının uygulanması.....	51
Sulama sularının örnekleme ve su analizleri.....	51
Toprak örneklerinin analizleri.....	54
Bitki analizleri.....	56
Ham yağ oranı (%):.....	58
Yağ verimi (kg/da)	58

Ham Protein Oranı	59
Bitkide Na, K, Ca, Mg, N, B, Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Ni, Pb, Co ve Cr element analizleri	59
Klorofil içeriği (SPAD) belirlenmesi	59
Stoma iletkenliğinin belirlenmesi	60
Verilerin değerlendirilmesi	61
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	62
Sulama Sularının Özellikleri	62
Sulama Suyu Miktarları	66
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	67
Bitki Su Tüketim Değerleri (Evapotranspirasyon)	76
Klorofil İçeriği (SPAD) ve Stoma İletkenliği	80
Su Kullanım Etkinliği (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (IWUE)	85
Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Değerleri	90
Bitki boyu.....	90
Gövde çapı	92
Dal sayısı.....	94
Tabla çapı.....	97
Tabla sayısı.....	99
Protein oranı	108
Yağ oranı	110
Tohum verimi.....	113
Yağ verimi.....	117
Bitki Makro- Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri	119
Toprak Ağır Metal İçerikleri.....	134
SONUÇ VE ÖNERİLER	156
KAYNAKLAR.....	160
ÖZGEÇMİŞ.....	181

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Dünyadaki Bazı Ülkelere İlişkin Atıksu İstatistikleri.....	7
Tablo 2. Türkiye’de Su Kullanımının Yıllara Göre Değişimi (milyar m ³ /yıl)	8
Tablo 3. Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri.....	9
Tablo 4. Sulama Suyu Kalitesine İlişkin Parametre Değerleri	10
Tablo 5. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri	11
Tablo 6. Araştırma Bölgesine İlişkin Meteorolojik Veriler.....	39
Tablo 7. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri.....	41
Tablo 8. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri	41
Tablo 9. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri	41
Tablo 10. Çalışmada Kullanılan Bakteri İzolatları	44
Tablo 11. SAR, RSC ve % Na Eşitliklerine Ait Formüller	54
Tablo 12. 2022 Yılında Denemede Kullanılan Sulama Sularının Kalite Analiz Sonuçları.....	62
Tablo 13. 2023 Yılında Denemede Kullanılan Sulama Sularının Kalite Analiz Sonuçları.....	63
Tablo 14. 2022 ve 2023 Yılında Aylık ve Mevsimlik Sulama Suyu Miktarları (mm).....	66
Tablo 15. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Klorofil İçeriği (SPAD) Değerlerine Etkisi	80
Tablo 16. Arıtılmış Atık Su Ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin SPAD Değerlerine Etkisi	81
Tablo 17. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Stoma İletkenliği Değerlerine Etkisi	83
Tablo 18. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Stoma İletkenliği Değerlerine Etkisi	84
Tablo 19. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin WUE Değerlerine Etkisi	85
Tablo 20. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin WUE Etkisi	86
Tablo 21. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin IWUE Değerlerine Etkisi	86
Tablo 22. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin IWUE Etkisi	87
Tablo 23. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Bitki Boyuna Etkisi	90

Tablo 24. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Bitki Boyuna Etkisi	91
Tablo 25. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Gövde Çapına Etkisi	92
Tablo 26. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Gövde Çapına Etkisi	93
Tablo 27. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Dal Sayısına Etkisi	95
Tablo 28. Arıtılmış Atık su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Dal Sayısına Etkisi	96
Tablo 29. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tabla Çapına Etkisi	97
Tablo 30. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Çapına Etkisi	98
Tablo 31. Farklı sulama seviyesi ve bakteri uygulamalarının aspir bitkisinin tabla sayısına etkisi	99
Tablo 32. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Sayısına Etkisi	100
Tablo 33. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tabla Başına Tohum Sayısına Etkisi	102
Tablo 34. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Başına Tohum Sayısına Etkisi	103
Tablo 35. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin 1000 Tane Ağırlığına Etkisi	105
Tablo 36. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin 1000 Tane Ağırlığına Etkisi	106
Tablo 37. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Protein Oranına Etkisi	108
Tablo 38. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Protein Oranına Etkisi	109
Tablo 39. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Yağ Oranı Değerlerine Etkisi	111
Tablo 40. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Yağ Oranına Etkisi	112

Tablo 41. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tohum Verimine Etkisi	114
Tablo 42. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tohum Verimine Etkisi.....	115
Tablo 43. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Yağ Verimine Etkisi	117
Tablo 44. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Yağ Verimine Etkisi	118
Tablo 45. Bitkilerde İzin Verilebilir Ağır Metal İçerikleri (mg/kg)	119
Tablo 46. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama P ve K İçerik Değerlerine Etkisi	121
Tablo 47. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Ca ve Mg İçerik Değerlerine Etkisi	122
Tablo 48. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cd ve Pb İçerik Değerlerine Etkisi	123
Tablo 49. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cr ve Mn İçerik Değerlerine Etkisi.....	124
Tablo 50. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cu ve Zn İçerik Değerlerine Etkisi	125
Tablo 51. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Fe ve Ni İçerik Değerlerine Etkisi	126
Tablo 52. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin P, K, Ca ve Mg Değerlerine Etkisi.....	129
Tablo 53. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Cd, Pb, Cr ve Mn Değerlerine Etkisi	130
Tablo 54. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Cu, Zn, Fe ve Ni Değerlerine Etkisi	131
Tablo 55. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi	135
Tablo 56. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi	136
Tablo 57. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi	137
Tablo 58. Arıtılmış Atık Su Ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi.....	138

Tablo 59. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	139
Tablo 60. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	140
Tablo 61. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	141
Tablo 62. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi	142
Tablo 63. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Pb İçeriğine (mg/kg) Etkisi	143
Tablo 64. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Pb İçeriğine (mg/kg) Etkisi	144
Tablo 65. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cd İçeriğine (mg/kg) Etkisi	145
Tablo 66. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cd İçeriğine (mg/kg) Etkisi	146
Tablo 67. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cr İçeriğine (mg/kg) Etkisi	147
Tablo 68. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cr İçeriğine (mg/kg) Etkisi	148
Tablo 69. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Ni İçeriğine (mg/kg) Etkisi	149
Tablo 70. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Ni İçeriğine (mg/kg) Etkisi	150

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Arıtılmış atık su yeniden kullanım döngüsü	3
Şekil 2. Türkiye'de kaynağına göre çekilen su miktarının dağılımı.	8
Şekil 3. Araştırma alanının yetiştirme öncesi uydu görüntüsü.....	38
Şekil 4. Çalışmanın yürütüldüğü deneme alanından farklı görünümeler.....	38
Şekil 5. Çalışma alanının uzun dönem ve deneme yıllarına ait minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve toplam yağış değişimleri.....	40
Şekil 6. Arıtılmış atık suyun deneme alanına vidanjörle taşınması ve 10 ton kapasiteli depoya aktarımı.....	42
Şekil 7. Damla sulama sistemi	43
Şekil 8. Dinçer Çeşidi Aspir Bitkisi Tohumu	44
Şekil 9. Deneme planı	46
Şekil 10. Deneme planında parsel, sulama sistemi ve bitki düzenleme ayrıntıları	46
Şekil 11. Arazi gübreleme işlemleri	47
Şekil 12. Markörle sıra açılması ve el mibzeri ile ekim işlemi	47
Şekil 13. Çapalama İşlemleri.....	48
Şekil 14. Aspir bitkisinin hasat zamanı görüntüsü	48
Şekil 15. Kurutulan aspir bitkisinin makine ile harman işlemi	49
Şekil 16. Bakteri solüsyonlarının bitkilere uygulanması.....	51
Şekil 17. Elektriksel iletkenlik ve pH ölçer.....	52
Şekil 18. Kimyasal oksijen ihtiyacı cihazı	53
Şekil 19. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı cihazı	53
Şekil 20. El karıştırıcısı silindirin içine daldırılıp karıştırılma işlemi	55
Şekil 21. Basınç Plakası Cihazı.....	55
Şekil 22. Bitki boyu ölçümü ile ilgili görsel	57
Şekil 23. Bitki tabla çapı ölçümü ile ilgili görseller.....	57
Şekil 24. Tabla başına tohum sayısı ile ilgili görsel.....	58
Şekil 25. Yağ oranı tayin cihazı	58
Şekil 26. Kjeldahl yöntemi görseli	59
Şekil 27. ICP-MS Cihaz Görseli	59
Şekil 28. Klorofil metre ve SPAD ölçümü.....	60
Şekil 29. Stoma iletkenliğinin ölçümü	61
Şekil 30. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	67
Şekil 31. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	68

Şekil 32. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	68
Şekil 33. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	69
Şekil 34. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	69
Şekil 35. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	70
Şekil 36. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	70
Şekil 37. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	71
Şekil 38. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	71
Şekil 39. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	72
Şekil 40. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	72
Şekil 41. 2023 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	73
Şekil 42. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	73
Şekil 43. 2023 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	74
Şekil 44. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	74
Şekil 45. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	75
Şekil 46. 2022 yılı yetiştirme dönemi sulama uygulanmayan (yağışa dayalı) ve tüm bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	75
Şekil 47. 2023 yılı yetiştirme dönemi sulama uygulanmayan (yağışa dayalı) ve tüm bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri	76
Şekil 48. 2022 yılı sezonluk bitki su tüketim değerleri	77
Şekil 49. 2023 yılı sezonluk bitki su tüketim değerleri	78

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

%	: Yüzde
cm	: Santimetre
da	: Dekar
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
g	: Gram
ha	: Hektar
kg	: Kilogram
m	: Metre
m²	: Metrekare
mm	: Milimetre
PGPB	: Bitki büyümesini destekleyen bakteri
PGPR	: Bitki büyümesini destekleyen rizobakteri
SN	: Solma noktası
TK	: Tarla kapasitesi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

GİRİŞ

İklim değışikliği, sık ve yoğun kuraklıklar gibi olumsuz hava olayları ile birlikte dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yenilenebilir su kaynaklarının önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır (Karimi *et al.* 2018; Mahjoub *et al.* 2022). Ayrıca hızlı nüfus artışı ve artan şehirleşme, kurak ve yarı kurak alanlarda tatlı su kaynaklarına olan talebin artmasına neden olmaktadır. Bu küresel değışimlerin en önemli sonuçlarından biri kurak ve yarı kurak bölgelerde gıda endüstrisini etkileyen su kıtlığının ortaya çıkması durumudur (Ahmed *et al.* 2022; Saad *et al.* 2022). Dünyanın % 70'i su ile kaplı olmasına rağmen, mevcut su potansiyelinin sadece % 2,5'i tatlı su kaynaklarını oluşturmaktadır (Chai *et al.* 2014). Mevcut olumsuz koşullar devam ettiği takdirde dünyanın 2030 yılına kadar % 40'lık bir küresel su açığıyla karşı karşıya kalacağını tahmin edilmektedir (WWAP 2015). Su sağlanması sorununun dünyada gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım için ciddi zorluklar oluşturmaları beklenmektedir (Rahman *et al.* 2018). Dünya nüfusu 2050 yılında %30 artması beklendiğinden, gıda güvenliğinin önümüzdeki yıllarda daha da kötüye gitmesi beklenmektedir (Mahjoub *et al.* 2022). Artan nüfusla birlikte, su kıtlığı sorunu göz önüne alındığında, yiyecek temin etmek daha da zor hale gelmesi beklenmektedir (Ouda and Zohry 2020).

Su kaynaklarının %70'inin kullanıldığı tarımsal üretim, birincil tüketici durumundadır. Dünyada gıda güvenliğini sağlamak amacıyla sulu tarım alanlarının %20'den fazla artırılması ve sulu tarımda verimliliğın 2025 yılına kadar %40 artırılması gerekmektedir (Abdelraouf *et al.* 2020). Nüfus artışlarından dolayı tarımsal üretimin yoğunlaşması gelecekte tarım sektöründeki su tüketiminin artması beklenmektedir (Michetti *et al.* 2019). Yüksek nüfus artışına karşı tarımda bitkisel üretimi artırmak en önemli hedeflerden biri olmalıdır (Abdelraouf and Ragab, 2018). Yüksek verim potansiyeline ulaşmak ve toplam üretimi artırmak için sulama programları önem arz etmektedir (Ouda and Noreldin, 2020).

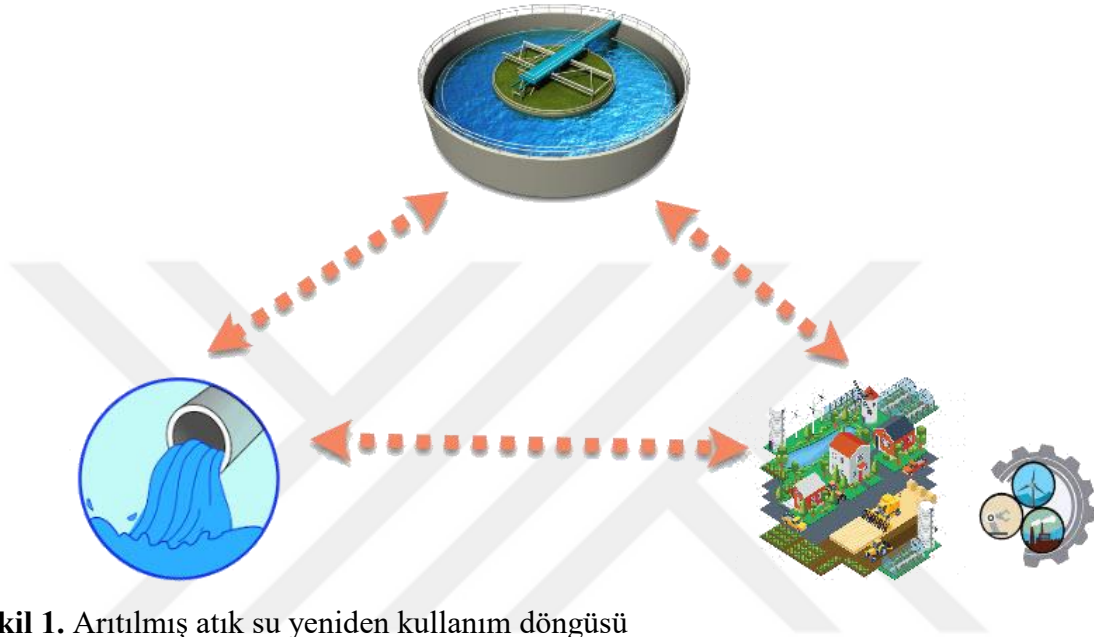
Ülkelerin gelecek planlamalarının başında su kaynaklarını etkin yönetimi gelmektedir. Su kaynakları yönetimi kavramı, ürün verimini artıran ve su kayıplarını en aza indiren tüm uygulamalar ifade edilmektedir (Johnson *et al.* 2001). Başka bir deyişle günümüzde su kaynakları yönetimi, iklim değışikliği etkisiyle mevcut kaynakların azalmasına yanıt verebilecek ve özellikle tarımda su kullanımının sürdürülebilirliğini sağlayacak çözüm yoludur. Bu doğrultuda suyun etkin yönetimine yönelik tüm dünyada araştırmalar hızlı bir şekilde artmaktadır (Saliba *et al.* 2018).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynakları üzerindeki yoğun baskıyı azaltmak ve sulama suyunun sürdürülebilir yönetimini sağlamak için su kullanım verimliliğinin artırılması ve alternatif kaynakların belirlenmesi zorunludur. Bu amaçla, çevreye duyarlı bir teknoloji olan arıtılmış atık suyun uygulanması (Khanpae *et al.* 2020; Lahlou *et al.* 2021; Mahjoub *et al.* 2022) ve kısıtlı sulama uygulamaları (Chai *et al.* 2014; Deh-Haghi *et al.* 2020; Saad *et al.* 2022), önemli miktarda su tasarrufu sağlamak ve kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığını hafifletmek için uygun bir yaklaşımlar olarak düşünülmektedir.

Kısıtlı sulama maksimum buharlaşma ve terlemeyi karşılamak için gereken sulama suyu ihtiyacına göre bir bitkinin bilinçli olarak belirli oranlarda veya dönemlerde az sulanması uygulaması olarak tanımlanmaktadır (English and Nuss 1982; Chand *et al.* 2020; Abd El-Mageed *et al.* 2022). Kısıtlı sulama uygulamalarında, bitkiler tam sulamaya kıyasla daha az su almakta olup, bu da verim ve biyokütle veriminin azalmasına neden olmaktadır (Ritchie *et al.* 2009; Himanshu *et al.* 2019). Teknik bir denge sağlayabilmek amacıyla verimi artırmak için kısıtlı sudan yararlanılmakta ve bu durum yüksek su kullanım verimliliği sağlamaktadır (Ozer *et al.* 2020). Kısıtlı sulama uygulamasıyla ürün verimi düşmekle birlikte ancak uygun oranlarda uygulandığında, artan sulama suyu verimliliği ürün ile verimdeki düşüş hafifletmektedir (Banjaw *et al.* 2017; Cole *et al.* 2018). Birçok saha çalışması, sulama suyunun sınırlı olması durumunda, suyun farklı kritik büyüme aşamaları sırasında suyun kısıtlı uygulanması ile bitki verimliliğinin artırılabilirliğini öne sürmektedir (Zonta *et al.* 2017; Levin *et al.* 2018; Galindo *et al.* 2018; Zuazo *et al.* 2021; Sesveren *et al.* 2022; Hajlaoui *et al.* 2022).

Arıtılmış atık suyun sulama için yeniden kullanılması, mevcut su kaynaklarını en üst düzeye çıkarmak için değerli bir stratejidir (Saliba *et al.* 2018). Atık suyun yeniden kullanımı iklim değişikliğinin etkisi ile su sıkıntısı çeken bölgelerde mevcut kaynakların azalmasına karşı, kullanılmasına ve benimsenmesine yol açmaktadır (Deh-Haghi *et al.* 2020). Atık sular konutlar, tarım ve hayvancılık uygulamaları, enerji santralleri ve sanayi kuruluşları sonucu ortaya çıkan ve içerisinde insan sağlığını olumsuz etkileyen biyolojik ve kimyasal maddeleri içeren sular olarak ifade edilmektedir (Crook 1998; Menegaki *et al.* 2007). Atık sular peyzaj alanlarının sulanmasında, araç yıkamada, beton üretiminde, dekoratif amaçlı havuz ve şebekelerde, konutların tuvaletlerinde, yangında, sanayide, bahçelerin sulanmasında, rekreasyon alanlarında, akarsuların beslenmesinde, sulak alanların iyileştirilmesinde ve tarımsal sulama gibi birçok alanda kullanılabilmektedir (Yang *et al.* 2017). Büyük ölçüde suya bağımlı olan ve dünya genelinde çekilen tatlı suyun büyük bölümünü kullanan tarım, sulama için arıtılmış atık suların kullanımları ile üzerinde oluşan olumsuz stresi azaltabilecektir (Mojid *et al.* 2010; Mahjoub *et al.* 2022). Tarımda sulama suyu olarak atık suların kullanımı onlarca yıl önceye dayanmaktadır.

20. yüzyılın başlarında, Avrupa'daki büyük şehirlerde, "lağım çiftlikleri" olarak bilinen yerlerde sulama için atık su kullanıldığı bilinmektedir. Bu durum su kaynaklarının tarımda kullanımına teşvik etmekle birlikte, çevre ve sağlıkla ilgili sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır (Ofori *et al.* 2021). Tarımda sulama suyu açısından alternatif bir su kaynağı olarak düşünülen arıtılmış atık suyun özellikle su kıtlığı olan bölgelerde yıllar içinde kullanımı tartışma konusu olmuştur. Arıtılmış atık suyun, temel olarak kullanım kavramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Arıtılmış atık su yeniden kullanım döngüsü

Atık su, sürdürülebilirlik açısından yeniden kullanım amacıyla oldukça önemli bir sulama suyu kaynağı haline gelmektedir (Leuther *et al.* 2019; Ahmmadi *et al.* 2021). Çin, İsrail, Fransa, İspanya, Belçika, İsveç ve Gana gibi dünyadaki birçok ülke arıtılmış atık suyu, tarımda sulamaya alternatif olarak kullanılmaktadır (Reznik *et al.* 2017; Ammeri *et al.* 2023). Dünya çapında arıtılmış atık suyun yeniden kullanım oranı toplam kullanım miktarının %1'i dolayında olup, oldukça azdır. Yunanistan, İtalya ve İspanya gibi su kıtlığının daha şiddetli olduğu Akdeniz ülkelerinde yeniden kullanım %5 ile %12 arasındayken, Avrupa'da arıtılan toplam atık suyun ortalama miktarı %2,4 dolayındadır (Saliba *et al.* 2018). Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilen geri kazanılan atıksu miktarı 2018 yılında 4,24 milyar m³tür (Cakmakci and Sahin 2021). Arıtılmış atık suların tarımda kullanılması yalnızca güvenilir bir su kaynağı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gübre gereksinimlerinin azalmasına yol açan besin geri dönüşümüne de katkı sağlamaktadır (Elgallal *et al.* 2016; Feder 2021; Yalin *et al.* 2021). Arıtılmış atık su, yüksek konsantrasyonda besin maddeleri içerdiğinden inorganik gübrelere uygun maliyetli bir alternatif olabilmektedir (Tahir *et al.* 2018; Reda *et al.* 2020). Tarım da atık suların kullanılması ile hem bitki-toprak ilişkisi üzerine olumlu katkılar sağlanacak hem de temiz su kaynakları üzerindeki baskının azaltılması sağlanmış olacaktır.

Arıtılmış atık suların tarımda kullanılması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde bitkilerin verim kalite parametreleri, toprak özellikleri ve su kaynaklarının etkin kullanılması konularında olumlu katkılar sağladığı görülmektedir (GhassemiSahebi *et al.* 2020; Bashir vd. 2021; Lahlou *et al.* 2021; Ammeri *et al.* 2023). Tarımda arıtılmış atık suyun kullanımı, olumlu ve olumsuz çevresel etkilere sahiptir. Geri kazanılmış atık suların tarımda yeniden kullanımı için “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” kriterlerine uygun değerlere sahip olması gerekmektedir. Suyun sulama yönünden elverişliliğinin belirlenmesi için sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu, toplam katı madde, kalsiyum ve magnezyum, anyonlar (klor, sülfat, nitrat), toksik elementlerin konsantrasyonu, organik madde yükü, patojen ve mikroorganizmaların miktarı en önemli parametreler olarak ifade edilmektedir (Wu *et al.* 2020; Giri *et al.* 2022).

Günümüzde bitkisel üretim yapılan çoğu tarım arazisinde sulama suyu kıtlığı çekilmekte, bu da bitki gelişimini sınırlamakta, bitki verim ve kalitesinde düşüşe neden olmaktadır. Ekolojik streslerden biri olan su stresi, dünya çapında çoğu tarım alanında bitki gelişimini ve ürün verimliliğini sınırlayıcı bir faktördür (Hafez *et al.* 2021). Kuraklık, dünya çapında ürün verimini sınırlayan en büyük etkidir. Su eksikliği stresi, fiziksel ve doğal faktörlerin bir araya gelerek bitkide su kıtlığı yaratarak verimin düşmesine neden olmaktadır (Forni *et al.* 2017). Su stresinin büyümeyi ve verimi etkileyen en yaygın abiyotik streslerden biri olduğu, bitkilerde fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeydeki birçok koruma sistemini harekete geçirdiği belirlenmiştir (Salem 2018). Özellikle suya karşı daha duyarlı olduğu bazı gelişim evrelerinde su stresine maruz kalan bitkilerin önemli verim kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle sulu tarımda ürün veriminin artırılması ve mevcut suyun verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Mondani *et al.* 2019). Bu doğrultuda son zamanlarda bitkilerin büyümesini ve üretkenliğini en üst düzeylere çıkarmak amacıyla bitkilerin kök bölgesinde yaşayan ve bitkilerle etkileşime girerek doğrudan veya dolaylı olarak olumlu yönde büyümeye katkıda bulunan bitki büyümesine teşvik eden bakteriler (PGPB) tarımsal stratejilerin içerisinde yer almaktadır (Alharbi *et al.* 2022). Bitki büyümesine teşvik eden bakteriler (PGPB), tuzluluk ve su stresi gibi abiyotik stresler ile bitkinin mücadele etmesi açısından çevre dostu ve sürdürülebilir bir yol sunmaktadır (Liddycoat 2008; Tanveer and Ali 2022; Zarei 2022).

Yağlı tohum bitkileri, bitkisel yenilebilir yağa olan yüksek talep nedeniyle dünya çapında büyük bir genişleme ile tahıllardan sonra ikinci besin kaynağı olarak görülmektedir (Ebrahimian *et al.* 2019). Yağlı tohuma sahip bitkiler, tohumuyla bitkisel yağ endüstrisine, yağı alındıktan sonra yem sanayine hammadde olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda bu

bitkilerden biyodizel elde edilmesi de yağlı tohum bitkilerinin üretim cazibesini artırmaktadır. Ekolojik açıdan ülkemizin farklı bölgelerinde değişik yağlı tohum bitkilerinin üretim potansiyeli olmasına rağmen en yaygın üretimi yapılan iki bitki, ayçiçeği (%54,6) ve pamuk tohumu (%35,2) olarak sıralanmaktadır. TÜİK verilerine göre ülkemizin 2018 yılı yağlı tohum ithalatı 5,16 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Toplam yağlı tohum açığı 3,32 milyon ton olup, Türkiye bitkisel yağ ihtiyacının karşılanması açısından dışa bağımlılığı fazla bir ülkedir (TÜİK, 2017).

Yağlı tohum bitkileri arasında aspir bitkisi tohumu, yüksek yağ içeriği (%35-%40) ile iyi bir kaliteye sahiptir (Torabi *et al.* 2015; Yazdani *et al.* 2019). Çiçekleri kırmızı, sarı ve turuncu gibi renklerde olan tek yıllık bir yağ bitkisi olan Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), su stresi de dahil olmak üzere çevresel stresleri tolere edebilen kazık köklü bir bitki olduğundan, su stresine orta derecede toleranslı bir üründür. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), su stresi sınırlamaları nedeniyle dünyanın kurak ve yarı kurak alanlarında üretilen ana ürün olup, kurak olan arazilerde periyodik olarak kültürü yapılmaktadır (Ebrahimian *et al.* 2019; Bijanzadeh *et al.* 2022). Son yıllarda özellikle kuş yemi, boya sanayi, biyoyakıt ve yemeklik yağ üretimine olan ilgi ile aspirin yağ bitkisi olarak önemi artmıştır (Singh *et al.* 2016; Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017; Yeloojeh *et al.* 2020). TÜİK (2021) verilerinde 1988-2020 yılları arasında yağlı tohum ekiliş alanlarına göre ilk sırayı ayçiçeği almaktadır. Aspir bitkisinin 2020 yılı içindeki ekiliş alanı 151150 dekar olup, toplam yağlı tohumlar içindeki payı %1,69 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer bitkinin tanınırlığının yaygınlaştırılması konusunda bir fikir vermektedir. Üretim miktarı ise 2020 yılında 21325 ton olup, toplam yağlı tohumlar içindeki payı %0,59'dur. Aspirin Türkiye'de dekara verimi 60 kg/da (2000 yılı ortalaması) ile 193 kg/da (2010 yılı ortalaması) arasında değişmekte olup, ortalaması 110 kg/da'dır. Verimin büyük bir aralıkta değişiminde kültür işlemlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Erzurum ili koşullarında, bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB) uygulamaları altında, arıtılmış evsel atık suyun damla sulama yöntemiyle farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin gelişimi, bitki besin içeriği, verimi, su-verim ilişkisi ve fizyolojik özelliklerindeki değişimlerin etkileri iki yıl süreyle araştırılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Tarımda Atık Su Uygulamalarının Etkileri

Tarihte, medeniyetlerin varlığı sürekli ve temiz su kaynaklarının varlığı ile özdeşleşmiştir. Bu durumdan hareketle bir ülkenin nüfus ve ekonomik gelişiminin temiz su kaynaklarının varlığına bağlı olduğu söylenebilir. Zaman geçtikçe dünyanın temiz su arzı sürekli olarak azalmaktadır. Birçok ülkede su talebi arzı sürekli aşmakta ve dünya nüfusu artmaya devam ettikçe ve su talebi arttıkça da temiz su kıtlığı ortaya çıkmaktadır (Hussain *et al.* 2019). Nehirlerden ve yer altı su kaynaklarından gelen tatlı suyun yaklaşık %70'i sulama için kullanılmaktadır (WRI 2020). Bu nedenle, tarımda atık suyun yeniden kullanımı, tarımda temiz su kullanımının yerini almak için ideal bir kaynak olarak görülmektedir (Contreras *et al.* 2017).

Dünyada arıtılmış atık suyun tarımsal amaçlar için yeniden kullanımı %1,5 ile %6,6 arasında değişkenlik göstermektedir (Ungureanu *et al.* 2020). Arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı üzerine Avrupa, ABD, Çin'de yılda %10 ila 29 arasında ve Avustralya'da %41'e kadar bir artışın olduğu belirtilmiştir (Aziz and Farissi, 2014). Dünya çapında yaklaşık 44 ülkede, her gün 15 milyon m³ arıtılmış atık su, tarımsal sulama için yeniden kullanılmaktadır. Ayrıca 50 ülkede 20 milyon hektar alanın atık su ile sulandığını belirtilmiştir (Hashem and Oi, 2021). Asya'da Çin, Vietnam, Hindistan ve Pakistan dahil olmak üzere tahmini 1,3 M ha alanla atık suyun yeniden kullanımında öne çıkmaktadır (Zhang and Shen, 2017). Afrika, Asya ve Latin Amerika'daki birçok düşük gelirli ülkenin, sulama kaynağı olarak arıtılmamış atık suyu kullanıldığı; Tunus, Ürdün ve Suudi Arabistan gibi orta gelirli ülkeler, sulama için arıtılmış atık su kullandığı belirlenmiştir (Balkhair 2016; Kesari *et al.* 2021). Dünyadaki bazı ülkelerde belediyeler tarafından arıtılan ve sulama suyu olarak kullanılan atık su miktarlarının 2019 yılına ait verileri Tablo 1'de verilmiştir (FAO 2021).

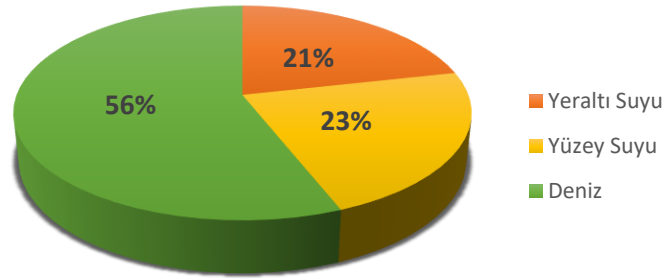
Tablo 1. Dünyadaki Bazı Ülkelere İlişkin Atıksu İstatistikleri

Ülke	Arıtılmış Belediye Atıksuyu (10 ⁹ m ³ /yıl)	Arıtılmış Belediye Atıksularının Sulama Suyu Olarak Kullanım Miktarı (10 ⁹ m ³ /yıl)
Türkiye	4,35	0,05
Brezilya	6,29	0,01
Çin	49,31	1,26
ABD	45,35	2,77
Hindistan	4,42	-
Almanya	5,18	0,04
Avusturalya	2	0,14
Mısır	4,28	0,29
Kanada	5,80	-
Fransa	3,77	0,41
İtalya	3,90	0,09
İsrail	0,45	0,28

Avrupa’da su kullanım sektörleri incelendiğinde %44’ü tarımda, %40’ı sanayi ve enerji üretiminde, %16’sı kullanma suyu sağlanmasında kullanılmaktadır. Atık suyun kullanıldığı alanlara bakıldığında %20’si peyzaj alanlarının sulanması, %2,2’si yer altı suları, %6,8’i rekreasyon alanları, içme suyu kullanımı dışı kentsel alanlarda %8,3, dolaylı olarak içme kullanımları %2,3, tarımsal sulama %32, sanayi %19, çevresel düzenleme %8, diğer kullanımlar %1,5 olarak belirlenmiştir (Kesari *et al.* 2021).

Türkiye’de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm olup, yılda ortalama 450 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü su potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m³’tür, 18 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 57,30 milyar m³’ü kullanılmaktadır. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³, 2020 yılında ise 1346 m³ olmuştur (DSİ, 2021). DSİ verilerine göre 2020 yılı için sektörel su kullanımları; Sulamada 44 Milyar m³ (%76,8), içme, kullanma ve sanayide 13,30 Milyar m³ (%23,2), toplam su kullanımları (40,7 Milyar m³ yerüstü, 16,60 Milyar m³ ise yeraltı suyu kullanımı olmak üzere) 57,30 Milyar m³’tür (Can ve Dulkadiroğlu, 2021; DSİ, 2021). Diğer su kullanım verileri için TÜİK verilerinden hareketle belediye ve köylerde içme/kullanma suyu şebekesi ile dağıtılmak; imalat sanayi işyerleri, termik santraller, Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) ve maden işletmeleri tarafından ise kullanılmak amacıyla 2020 yılında su kaynaklarından 9,8 milyar m³’ü soğutma amaçlı olmak üzere toplam 18,2 milyar m³ su çekilmiştir (TÜİK, 2021). Kullanılan suyun %56’sı denizden; %22,5’i yeraltı ve

%21,5'i yüzey suları olmak üzere toplam %44'ü tatlı su kaynaklarından sağlanmıştır. 2020 yılında denizden çekilen suyun yüzde %93,9'u soğutma amaçlı kullanılmaktadır. (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'de kaynağına göre çekilen su miktarının dağılımı.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre ülkemizde sektörlere göre su kullanımı 2018 yılında %71,5 sulama, %28,5'i içme-kullanma-sanayi, 2020 yılında ise %76,8 sulama, %23,2 içme-kullanma-sanayi alanlarında kullanılmıştır. Diğer taraftan, Türkiye'de su kullanımının yıllara göre değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'de Su Kullanımının Yıllara Göre Değişimi (milyar m³/yıl)

Yıllar	2010	2014	2018	2020
Belediyeler	4,78	5,23	6,19	6,49
Köyler	1,01	0,43	0,39	0,42
İmalat-Sanayi-İşyerleri	1,56	2,20	2,68	2,60
Termik Santraller	4,27	6,53	7,87	8,28
Organize Sanayi	0,11	0,14	0,16	0,18
Maden İşletmeleri	0,05	0,21	0,24	0,27
Sulama	38,15	35,85	43,95	44,00
Toplam	49,95	50,59	61,48	62,24

Ülkemizde belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB'ler ve maden işletmeleri tarafından 2020 yılında doğrudan alıcı ortamlara 9,5 milyar m³'ü soğutma suyu olmak üzere 15,3 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir. Doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilen atık suyun %76,6'sı denizlere, %19,3'ü akarsulara, %1,1'i barajlara, %1'i foseptiklere, %0,4'ü göl/göletlere, %0,2'si araziye, %1,4'ü ise diğer alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Ülkemizde atık su arıtma tesisi sayısı 2020 yılı TÜİK verilerine göre 1068 adet olup, arıtılan atık su miktarı ise 4,358 milyar m³/yıl'dır. Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atık su miktarı da 2020 yılı için ortalama 189 litre olarak tespit edilmiştir. Bu rakamlara göre arıtılmış atık suyun tarımda kullanımı ülkemiz açısından da büyük önem arz etmektedir. Atık suyun %50,7'sine

gelişmiş, %27,1'ine biyolojik, %21,9'una fiziksel ve %0,3'üne doğal arıtma uygulanmaktadır (TÜİK 2021).

Tarımda arıtılmış atık suyun kullanımının olumlu ve olumsuz çevresel etkilere sahiptir. Geri kazanılmış atık suların tarımda yeniden kullanım için “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” kriterlerine uygun değerlere sahip olması gerekmektedir. (Tablo 3). Suyun sulama yönünden elverişliliğinin belirlenmesi için sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu, toplam katı madde, kalsiyum ve magnezyum, anyonlar (klor, sülfat, nitrat), toksik elementlerin konsantrasyonu, organik madde yükü, patojen mikroorganizmaların miktarı en önemli parametreler olarak ifade edilmektedir (Wu *et al.* 2020). FAO’ya göre sulama suyu kalite parametre değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Kıtaiçi 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
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. Kadmium (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

Tablo 3. (devamı)

8. Kobalt ($\mu\text{g Co/l}$)	10	20	200	>200
9. Nikel ($\mu\text{g Ni/l}$)	20	50	200	>200
10. Çinko ($\mu\text{g Zn/l}$)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/l}$)	10	50	100	>100
12. Florür ($\mu\text{g F}^-/\text{l}$)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$)	10	10	50	>50
14. Sülfür ($\mu\text{g S/l}$)	2	2	10	>10
15. Demir ($\mu\text{g Fe/l}$)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan ($\mu\text{g Mn/l}$)	10	200	3000	>3000
17. Bor ($\mu\text{g B/l}$)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	>1000
18. Selenyum ($\mu\text{g Se/l}$)	10	10	20	>20
19. Baryum ($\mu\text{g Ba/l}$)	1000	2000	2000	>2000
20. Alüminyum ($\mu\text{g Al/l}$)	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 $\mu\text{g/L}$ 'ye kadar düşürmek gerekebilir.

(*)- Ölçülemeyecek kadar az miktarda.

Tablo 4. Sulama Suyu Kalitesine İlişkin Parametre Değerleri (Ayers and Westcot, 1985; Islam et al. 2018)

Potansiyel Sulama Problemi		Birim	Kullanım Kısıtlama Derecesi		
			Az	Orta	Yüksek
Tuzluluk	Ec	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
	TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Permeabilite (suyun toprağa sızma oranını etkiler)	SAR = 0-3	and	>0.7	0.7-0.2	<0.2
	SAR=3-6	EC =	>1.2	1.2-0.3	<0.3
	SAR=6-12		>1.9	1.9-0.5	<0.5
	SAR=12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
	SAR=20-40		>5.0	5.0-2.9	<2.9
	Sodyum ^a	SAR	<3	3-9	>9
Spesifik İyon Toksisitesi (hassas bitkileri etkiler)	Klorr ^a	me/l	<4	4-10	>10
	Bor	mg/l	<0.7	0.7-3	>3
Çeşitli Etkiler (hassas mahsulleri etkiler)	Bikarbonat (HCO_3)	me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
	pH	-	Normal Aralık 6.5-8.4		

^a Yüzey sulamasını temsil eder.

Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre topraktaki ağır metal sınır değerleri de Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri

Ağır Metal (Toplam)	pH 5-6	pH>6
	mg/kg Fırın Kuru Toprak	mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko*	150 **	300 **
Civa	1 **	1.5 **

* pH 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Yağlık bitkiler, genellikle yağlı tohumları veya meyveleri içinde bulunduran bitkilerdir ve bu yağlar genellikle endüstriyel veya gıda amaçlı olarak kullanılır. Bu bitkilerden elde edilen yağlar, biyoyakıt üretimi, gıda hazırlığı, kozmetik ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ayoub *et al.* 2016; Chaganti *et al.* 2021). Tsoutsos *et al.* (2013), atık suyun yağlı tohumlu bitkilerde sulama amacıyla kullanılmasının, yağ ve biyodizel kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Ayrıca Meneses (2013) yağlı bitkilerin, arıtılmış atık su ile sulanmasında tohum verimini, kalitesini ve su etkinliğini arttırdığı bildirilmiştir.

İran'da kurak ve sıcak koşullarda atıksu uygulamasının aspir çeşitlerinin tohum verimi ve ağır metal içerikleri üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada üç sulama suyu konusu (sadece arıtılmış atık su ile, arıtılmış atıksu/temiz su ve sadece tatlı su) ile üç farklı aspir çeşidi sulanmıştır. Çalışma sonunda aspir çeşitlerinin sulama konularına verdiği tepkiler arasındaki fark önemli bulunmamış, atık suların aspirin verimi üzerine olumlu etki yaptığı sonucuna varıldığı ifade edilmiştir. Arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulaması ile karşılaştırıldığında aspir tane ve biyolojik verimde %40 ve %9'luk bir artışa neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca arıtılmış atık su uygulaması, aspir tohumlarında eser elementlerin (Fe, Mn, Cu, Cd ve Pb) birikmesine neden olmuş; ancak tüm metallerin içeriği Dünya Sağlık Örgütü tarafından izin verilen limitlerin altında bulunduğu belirtilmiştir (Yazdani *et al.* 2019).

Arıtılmış atık su ile sulama ile killi toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırma, beş yıl boyunca üç farklı uygulama konusunu içermekte olup, bitişik üç tarla parselinde (her biri 0.8 ha) yürütülmüştür. Deneme konuları yağışa dayalı uygulama, karma uygulama (3 yıl yağışa dayalı ve son iki yıl arıtılmış atık su ile sulama) ve arıtılmış atık su ile uygulama şeklindedir. Çalışmada arıtılmış atıksu ile sulama uygulamaları agrega stabilitesini, değişebilir sodyum yüzdesini (ESP), organik maddeyi (OM) ve elektrik iletkenliğini (EC) önemli ölçüde artırmış olup, hidrolik

iletkenlik ve infiltrasyonu ise azalttığı gözlenmiştir. Arıtılmış atık su uygulamalarının gerçekleştirildiği toprak örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, askıda kalan partiküller ve organik madde nedeniyle toprak gözeneklerinin kısmen veya tamamen tılandığı ifade edilmiştir (Gharaibeh *et al.* 2016).

Demir Doğan and Şahin (2017) tarafından, Türkiye'nin Bingöl ilinde farklı sulama düzeylerinde (tam, kısıtlı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu), arıtılmış atıksu ve temiz su kullanılarak yetiştirilen domates bitkisinin verim, kalite, su verimliliği ve toprakta ağır metal birikimi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan arıtılmış atık suyun pH, EC, toplam askıda katı madde, B, Cl, Na ve HCO_3 içerikleri kalite standartlarına uygun olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda arıtılmış atık suyun kullanım verimliliğinin, temiz suya kıyasla daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Arıtılmış atıksu sulama uygulamaları domatesin pazarlanabilir verimi, titrasyon asitliğini, C vitamini ve mineral içeriğini artırdığını belirtilmiştir. Ancak meyvelerdeki Cd ve Pb içerikleri FAO/WHO tarafından verilen standart limitleri aştığı ifade edilmiştir. Bu nedenle sulama suyu kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde kısmi kök bölgesi kurutma ve eksik sulama uygulamalarının, atıksu ile sulanan domates meyvelerinde su kullanım etkinliğinin artırılması ve metal kirliliğinin azaltılması için uygulanabilir bir yol olabileceği belirtilmiştir.

Farhadkhani *et al.* (2018), İran'ın İsfahan bölgesinde tarımsal faaliyetler için kullanılmamış bir atık su arıtma tesisinin bir alanında yürütmüş oldukları çalışmada iki sezon boyunca mısır ve marul bitkileri ile kışlık ürün olarak ise soğan yetiştiriciliği gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ikincil kademe arıtılmış atık su ve şebeke suyu ile sulanan toprak özellikleri ve ürünlerinin gıda içeriği yönünden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma süresi boyunca ikincil kademe arıtılmış atıksu örneklerinin hiçbirinde Salmonella, Shigella ve E. coli O157'ye rastlanmadığı bildirilmiştir. İkincil kademe arıtılmış atık su toprak örneklerinde biraz daha yüksek olan elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) dışında, toprağın fizikokimyasal özellikleri üzerinde kontrol parsellerine kıyasla önemli bir farkın bulunmadığı gözlenmiştir. Çalışma sonucunda soğan ve mısırdaki E. coli açısından mikrobiyal kontaminasyona rastlanmadığı belirtilmiştir. İkincil kademe arıtılmış atık su uygulamalarının, bitki veya toprak numuneleri açısından patojenik bakteri için pozitif bulunmadığı bildirilmiştir. Analiz edilen parametrelere göre ikincil kademe arıtılmış atık su, kök ve yapraklı bitkilerin sulanmasında alternatif bir kaynak olarak güvenle kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Gatta *et al.* (2018), ikincil ve üçüncül kademe arıtılan atık sular ile sulanan enginar da toprak ve bitki içeriğindeki ağır metal miktarını tespit etmek amacıyla bir çalışma

yürütmüşlerdir. Çalışmada enginar başlarında Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn ve Mn ağır metal içeriklerini araştırmışlardır. Ayrıca enginar başlarında bulunan ağır metallerin çocuk ve yetişkinler için zarar indeksi analizini de ortaya koymuşlardır. İkincil ve üçüncül arıtılmış atıksu sulamalarından sonra hasat edilen enginar başlarının ağır metal içeriklerinin uluslararası eşik değerlerin altında olması, bu ağır metallerin enginar mahsulünün yenilebilir kısmında birikmediğini vurgulamıştır. Enginar başlarının tüketimine dayanan tehlike indeksleri hem yetişkinler hem de çocuklar için <1,0 altında kalmış; bunun da farklı ağır metalleri içeren sağlık risklerinin önemli olmadığını gösterdiği ifade edilmiştir.

Libutti *et al.* (2018), İtalya'nın Apulia bölgesinde yürüttükleri çalışmada yer altı suyu, ikincil arıtılmış atık su ve üçüncül kademe arıtılmış atık su ile domates ve brokoli bitkilerinin yetiştiriciliğini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada arıtılmış atıksu ile sulamanın toprak özellikleri, bitki verimi ve mikrobiyolojik güvenlik etkileri değerlendirilmiştir. İkincil ve üçüncül kademe arıtılmış atıksu uygulamalarının fiziko-kimyasal parametrelerinin yeraltı suyundan daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir. İkincil ve üçüncül kademe arıtılmış atıksu örneklerinin askıda katı madde ve BOİ parametreleri dışında, tüm sulama suyu örnekleri, arıtılmış atık suyun yeniden kullanımına ilişkin İtalya Kalite Standartlarına uygun olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca hem ikincil hem de üçüncül kademe arıtılmış atıksu uygulamaları için askıda katı madde konsantrasyonu, damla sulama sistemlerinde tıkanma problemlerini önlemek için belirlenen sınırın altında olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda yetiştiriciliği yapılan domates ve brokoli bitkilerinin en önemli kalitatif parametreleri olan kuru madde içeriği, titre edilebilir asitlik, pH, gövde çapı arıtılmış atıksu uygulamalarından etkilenmediği belirtilmiştir. Araştırmada arıtılmış atık suyun tarımsal su kıtlığıyla başa çıkmanın etkili bir yolu olarak kabul edilebileceği vurgulanmıştır.

Çin'in İç Moğolistan Özerk bölgesinde iki farklı kalitede sulama suyu ile sulanan mısır (*Zea mays* L.) ve tarım topraklarının ağır metal (As, Cd, Cu, Cr, Pb ve Zn) konsantrasyonları bakımından değerleri üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Bölge tarlalarında atık suların sulama amacıyla yaygın olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda arıtılmış atık su ile sulanan toprakların organik madde miktarı (0,66-4,54 g/kg arasında değişmiş olup ortalama 1,71 g/kg), yeraltı suyu (0,47-2,42 g/kg arasında değişmiş olup ortalama 0,95 g/kg) ile sulanana kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu gözlenmiştir. Arıtılmış atık su ile sulanan toprak örneklerinin tamamında ağır metal konsantrasyonunun izin verilen standart limitlerinde olduğu belirtilmiştir. Arıtılmış atık su ile sulanan alanların mısır tanelerindeki ağır metal konsantrasyonu ile yeraltı suyuyla sulanan topraklardaki ağır metal konsantrasyonu arasında önemli bir fark bulmamalarına rağmen, her iki alan içinde de Pb elementi sınır değerinin

üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda çalışma sonucu olarak, gıda güvenliğini ve sürdürülebilir bitkisel üretimi sağlamak için tehlikeli maddelerin sürekli izlenmesi ve kirlilik kontrolünün gerekli olduğunu göstermiştir (Zhang *et al.* 2018).

Gu *et al.* (2019) toprağı uzun süre, arıtılmış atık suyla sulamanın toprak özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada 4 parsel alan (20 x 18 m) 0, 13, 22 ve 35 yıllık sulama sürelerini temsil edecek şekilde arıtılmış atık su ile sulanmıştır. Çalışmada uygulanan arıtılmış atık suyun kimyasal içeriğı analiz edilmiş olup, Cd ve Hg elementlerinin miktarı Çin sulama suyu kalite sınırlarının üzerinde bulunduğu bildirilmiştir. Çalışma sonuçları toprağı uzun süre, arıtılmış su ile sulamanın organik madde içeriğinde kayda değer bir artışa neden olduğunu ve toprak kalitesini iyileştirebileceğini ifade etmişlerdir. 35 ve 22 yıl arıtılmış atık su ile sulanan parsellerin, 13 yıl arıtılmış atık su ile sulanan parsellere kıyasla toprak profillerin alt kısımlarında As, Cd, Hg, Pb ve Zn'de azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Araştırma sonucu olarak uzun süreli sulama dönemlerinde uygulandığı zaman, arıtılmış atık su oranı ve sulama suyu hacminin azaltılması gibi arıtılmış atık su için uygun yönetimlere ihtiyaç bulunduğu vurgulanmıştır.

Campi *et al.* (2019) tarafından, Güney İtalya'da iki yetiştirme mevsimi boyunca sulama için arıtılmış atık su ve temiz su uygulamaları ile sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) bitkisini bitki verimliliğini artırma potansiyeli üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada sorgum bitkisinin sulama suyu olarak temiz su, ikincil kademe arıtılmış belediye atık suyu ve üçüncül kademe arıtılmış belediye atık suyu uygulanmıştır. İki hasat sezonunda elde edilen veriler belediye atık suyu ile sulanan sorgumun temiz su ile sulanmasına göre daha fazla kuru biyokütle (23,3'e karşı 20,3 t/ha), enerji verimi (383'e karşı 335 GJ/ha) ve etanol (6824'e karşı 6092) ürettiği belirtilmiştir. Araştırma sonucu olarak biyoenerji üretimi ve su verimliliğinin, temiz su uygulamalarının yerine arıtılmış atık su uygulamaları kullanıldığında artacağı ve bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Petousi *et al.* (2019) tarafından, Yunanistan'da Girit Teknolojik Eğitim Enstitüsü'nde üç sulama periyodu boyunca üç farklı kalitede (musluk suyu, ikincil kademe arıtılmış atıksu ve üçüncül kademe arıtılmış atıksu) atıksu uygulamalarının 33 adet asma bitkisine uygulamasının ürün verimi, meyve kalitesi ve toprak-bitki sistemi üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda üçüncül kademe arıtılmış atıksu uygulamasının musluk suyuna kıyasla bitki büyümesi ve verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, ikincil kademe arıtılmış atıksu uygulamasının ise meyve güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada çevrenin, bitki sağlığının ve meyve kalitesinin korunmasını garanti eden

alternatif bir su kaynağı olarak genç asmaların sulanması için üçüncül arıtılmış atık suyun kullanılması önerildiği bildirilmiştir.

Li *et al.* (2019) tarafından, toprağın arıtılmış atık su ile 40 yıl süre ile sulanmasının toprak mikroorganizmalarının uzun vadeli etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırma analizi sonucunda arıtılmış atık su ve yeraltı suyuyla sulanan topraklarda mikrobiyal miktar ve bileşimde önemli bir fark tespit olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada arıtılmış atık su ile sulanan belirli toprak bölgeleri arasında patlıcan, domates ve hıyarın büyümesi ve verimi üzerinde olumlu bir etki tespit edildiği belirtilmiştir. Ancak atıksu sulamasında patojenlerin, organik bileşiklerin ve ilaçların olası olumsuz etkileri ciddi şekilde göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır.

Heidari and Moradi (2019) tarafından, kuraklık altında buğday tohumlarının çimlenmesi ve büyümesi üzerine arıtılmış ve arıtılmamış atık suyun etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada temiz su, %100 arıtılmış atık su, %100 arıtılmamış atık su ve %50 arıtılmış atık su + %50 arıtılmamış atık su olmak üzere dört su kalitesi konusu ve iki ve üç gün sulama aralığı uygulaması irdelenmiştir. Araştırma sonucunda bitkide en yüksek klorofil içeriği %100 arıtılmış atık su ve üç günlük sulama aralığında elde edilmiştir. Ayrıca atık su uygulamalarının yüksek besin içeriğinden dolayı kuraklıkların olumsuz etkilerini hafifleteceği belirtilmiştir.

Demir Doğan and Şahin (2020), farklı sulama uygulamaları (tam, kısıtlı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu) ve arıtılmış evsel atıksu ile sulanan bir domates tarlasının 0–30, 30–60 ve 60–90 cm'lik toprak tabakalarının kimyasal ve biyolojik özelliklerindeki değişimleri belirlemek için 2 yıllık bir çalışma yürütmüştür. Çalışma sonucunda toprak elektriksel iletkenliği (EC) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerinin kabul edilebilir maksimum seviyenin oldukça altında olduğu görülmüştür. Organik madde açısından çok önemli bir değişimin olmadığı belirtilmiştir. En yüksek N, P₂O₅ ve K₂O konsantrasyonları tamamen atıksu ile sulanan 0-30 cm toprak tabakasında belirlenmiştir. Arıtılmış atık suların ağır metal konsantrasyonları FAO/WHO ve ulusal standartların güvenilir sınır değerleri altında olduğu ifade edilmiştir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının makro ve mikro besin elementlerindeki artışa bağlı olarak toprak verimliliğini arttırabileceği ifade edilmiştir.

Kardeş vd (2020) tarafından, üç farklı mısır çeşidi temiz su ve atık suyun %25, %50, %75 ve %100 oranlarında seyreltilmesi ile elde edilen farklı su kalitelerinin verim parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda %25 oranında seyreltilmiş atıksu ile sulamada en yüksek çimlenme yüzdesi (%94,4) kaydedilmiş olup, en düşük ise %100 atık su konsantrasyonunda elde edildiği belirtilmiştir. Sürgün uzunluğu bakımından en yüksek değer

12,8 cm ile %50 arıtılmış atık su konsantrasyonu, en düşük değer ise 9,4 cm ile kontrol grubunda gözlemlenmiştir. Sürgün yaş ve kuru ağırlık değerleri incelendiğinde en fazla artış %75 arıtılmış atık su konsantrasyonunda olup sırasıyla 234,1 mg/bitki ve 34,3 mg/bitki değerleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda arıtılmış atık sular içerisinde bitki besin elementleri bakımından zengin olabileceği belirtilmiştir. Bu doğrultuda seyreltirmeler yapılarak gübre maliyetleri ve su kaynaklarından tasarruf amacıyla kullanılabilmesi bildirilmiştir.

Mahmoudi *et al.* (2020), yüzey damla sulama ve yer altı damla sulama sistemi altında temiz su ve arıtılmış atık su ile sulamanın bamya bitkisi büyüme parametreleri ve üretimi üzerindeki etkisini incelemek için bir çalışma yürütmüştür. Çalışma sonucunda bamyanın maksimum tarımsal üretim performansının arıtılmış atık su ile kaydedildiği belirlenmiştir. Arıtılmış atıksu bamyanın büyüme parametrelerini ve verimini olumlu yönde etkilemiş olup bitki boyu 2017 ve 2018’de sırasıyla 257 ve 214 cm ile arıtılmış atıksu-25 cm derinlikte yeraltı damla sulama sistemi konusunda en yüksek değerlerin ölçüldüğü hesaplanmıştır. Bitki başına arıtılmış atıksu-5 cm derinlikte yeraltı damla sulama sistemi konusunun 55,8 ve arıtılmış atıksu-15 cm derinlikte yeraltı damla sulama sistemi konusunun 54.8 en fazla meyve sayısına ulaştığı ifade edilmiştir. En yüksek bamya verimi 2017 yılında arıtılmış atıksu-5 cm derinlikte yeraltı damla sulama sistemi konusu ile 4,59 t/ha ve en düşük verim ise temiz su damla sulama sistemi konusu 2,2 t/ha olarak belirlenmiştir.

Ghassemi Sahebi *et al.* (2020), Kuzeydoğu İran’da yürüttükleri bir çalışmada arıtılmış atık su ve deniz suyu ile bazı zeolit toprak düzenleyicileri (kontrol, calsic ve potasic) kullanılarak sorgum yetiştirilmiştir. Araştırmada 2016 ve 2017’de iki sezon boyunca altı su kalitesi kombinasyonu ve üç farklı toprak düzenleyici kullanımı analiz edilmiştir. Çalışmada %75 kuyu suyu + %25 deniz suyu, %25 kuyu suyu + %75 deniz suyu, %100 deniz suyuyla dönüşümlü %100 arıtılmış atık su, %50 deniz suyu ve %50 arıtılmış atık su ve %100 arıtılmış atık su bitki sulama uygulamalarında kullanılmıştır. En yüksek yem verimi 129,6 ton/ha ile %100 arıtılmış atık su ile sulanan calsic zeolit uygulamasında elde edilmiştir. En düşük yem verimi ise 46,9 ton/ha ile %100 deniz suyu ve %100 arıtılmış atık su ile dönüşümlü olarak sulanan konuda tespit edilmiştir. Sulama Suyu Kullanım Verimliliği (IWUE), zeolit ile birlikte arıtılmış atık su ile en yüksek seviyede olduğu ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda sorgum yetiştiriciliği için bitki verimi, IWUE, yaprak alanı ve bitki protein içeriği üzerinde arıtılmış atık su ve calsic zeolitinin birlikte kullanılmasının en etkili kombinasyon olduğu belirtilmiştir.

Perulli *et al.* (2021) elma ve nektarin ağaçlarının arıtılmış atıksu ile sulanmasının sürgün, yaprak ve meyve dokularında ağır metal ve mikrobiyal kontaminasyona yol açıp açmayacağı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma materyali olan üç yaşındaki ağaçlar

saksılarda büyütülmüş olup, bir sezon boyunca musluk suyu ve arıtılmış atıksu kullanılarak damla sulama sistemi ile sulamaları gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları sonucunda arıtılmış atıksu sulamaları hem yapraklarda hem de meyvelerde ağır metal veya iz element konsantrasyonunu (örn. B, Na, Zn) etkilemediği belirtilmiştir. Ayrıca meyve dokularındaki ağır metal konsantrasyonlarının her iki sulamada da insan tüketimi için uluslararası limitlerin altında olduğu ve ağaçların sürgün ve meyvelerinde *E. Coli* bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak nektarin meyvelerinde az sayıda koliform tespit edildiği ifade edilmiş olup bu değerler gıda maddeleri için Avrupa mikrobiyolojik limitlerinin çok altında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda ana ürün arıtılmış atıksu ile direk temas ile ıslatılmadığından özellikle damla sulamalı meyve bahçelerinde arıtılmış atıksu kullanımlarının umut verici olduğu vurgulanmıştır.

R'eunion adasında Feder (2021) tarafından, şeker kamışı üretiminde atık su uygulamasının verim ve kalitesine etkileri konulu bir araştırma yapılmıştır. İki yıllık çalışma sonucunda, şeker kamışı verimi, brix derecesi, lif ve sakkaroz miktarlarının arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarında benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Araştırma da ayrıca, toprak hidrolik iletkenliği ve organik karbon içerikleri, iki durum için önemli bir değişiklik göstermediği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda arıtılmış atıksu ile sulamanın su gereksinimleri desteklemek ve bitki besin elementi açısından faydalı olabileceği ifade edilmiştir.

Cakmakci and Sahin (2021), arıtılmış atık su ve temiz suyun farklı sulama düzeylerinin (%100, %67 ve %33) damla, karık ve yeraltı damla sulama yöntemleri ile uygulanmasının silajlık mısır verim ve bazı fizyolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. En yüksek biyokütle verimi %100 sulama düzeyi ile arıtılmış atık su ve yeraltı damla sulama sistemi kombinasyonunda 77,55 t/ha olarak hesaplamıştır. Aynı şekilde %100 sulama düzeyi ile arıtılmış atık suyun yeraltı damla sulama sistemi kombinasyonu en yüksek su verimliliğine (21,48 kg/m³) sahip olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda yeraltı damlama sulama sisteminin arıtılmış atıksu ile tam sulamada, silajlık mısırdaki su ihtiyacını azaltarak verimliliği artırmak için başarılı bir uygulama olabileceği ifade edilmiştir.

Pakistan'ın Sargodha bölgesinde uzun süreyle atık su ile sulamaya maruz kalan toprak ve bitkilerin özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada elektriksel iletkenliği (EC), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), kalıtsal sodyum karbonat (RSC), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam nitrojen (N), toplam fosfor (P), kurşun (Pb), arsenik (As), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), ve krom (Cr), sulama suyu kalite analizleri gerçekleştirilmiştir. EC, SAR, RSC, BOİ₅ ve KOİ cinsinden ifade edilen atık suların kalitesi tüm örnek seçilen alanlarda tarımsal faaliyetlerinde kullanıma uygun bulunmadığı

belirtilmiştir. Çalışma sonucunda organik madde ve bitki besin maddeleri bakımından zengin olan atık suların, toprak özelliklerini ve bitki büyümesini iyileştirebilsede, metal iyonlarının toprakta birikmesine ve bitkilere geçmesine neden olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca tarımsal sulama açısından bölge sularının önem alınarak kullanılması önerilmektedir (Ashraf *et al.* 2021).

Ağrağaç ve Çelebi (2021) tarafından, karamba bitkisi üretiminde Van/Edremit İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtılmış atık suyun farklı konsantrasyonlarda kullanımının bitki ve toprak üzerine etkisi konulu bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada su uygulamaları olarak %100 temiz su, %75 temiz su + %25 atık su, %50 atık su + %50 temiz su ve %25 temiz su ve %75 atık su olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda atık su uygulamalarında Karamba bitkisinin bitki boyu, yaş ve kuru ot miktarlarının arttığı ifade edilmiştir. Van/Edremit İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin suyunun kısa süreli bitki yetiştiriciliğinde kullanılabileceği, ancak uzun süreli kullanımının belirlenmesi için farklı bitki gruplarıyla daha uzun süreli çalışmalara ihtiyaç olduğu bilgisi verilmiştir. Benzer olarak Ek vd (2021) tarafından, Van Edremit İleri Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisinden alınan arıtılmış atık su ile yapılan başka bir çalışma ise Ak üçgül (*Trifolium repens* L.) ve Çayır salkım otu (*Poa pratensis* L.) bitkilerinin sulanmasını konu edinmiştir. Araştırmada %100 temiz su, %75 temiz su + %25 atık su, %50 atık su + %50 temiz su ve %25 temiz su ve %75 atık su, sulama konuları olarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, bitki boyu atık su uygulama miktarına bağlı olarak artış göstermiş olup en yüksek bitki boyu ak üçgülde 10,70 cm ile %75 atık su+ %25 temiz su uygulamasında, çayır salkım otunda ise 11,42 cm ve 11,21 cm ile sırasıyla %100 temiz su ve %75 atık su+ %25 temiz su uygulamalarında elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada Ak üçgülün yaş ve kuru ağırlığı atık su uygulamalarına bağlı olarak artmış, çayır salkım otunda ise atık su uygulamalarının etkisi görülmediği bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan atık suyun bitki büyüme ve gelişmesi üzerine olumlu etkileri belirlenmiş ancak toprak üzerine etkileri için uzun süreli çalışmalara ihtiyaç olduğu kanısına varıldığı vurgulanmıştır.

Mahjoub *et al.* (2022) arıtılmış atık suyun alternatif olması amacıyla Oued Souhil bölgesinde atıksuların su kalitesinin mikrobiyal analizi açısından bir araştırma yürütmüşlerdir. Arıtılmış atık suların ekonomik durumu ve su kalitesi parametreleri hakkındaki çiftçilerin bilgi eksikliği araştırılmıştır. Bunun giderilmesi için düzenli bilinçlendirme kampanyaları ve yayım hizmetleri ile kapasitenin geliştirilmesinin sağlanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu farkındalığın artırılması ile çevre ve sağlığa yönelik faydaların olduğunu belirtmiştir. Benzer bir çalışma da İran'ın Marvdasht İlçesinde çiftçilerin atık su ile sulanan çiftliklerin sosyal,

çevresel ekonomik ve sağlık bakımından sürdürülebilirliğine yönelik davranışları üzerine gerçekleştirilmiştir. Rastgele örnekleme yöntemiyle seçilen 197 atık su ve temiz su kullanıcısıyla yapılan anket çalışmasında, atık su kullanıcılarının sosyal, ekonomik, ve çevresel sürdürülebilirliğine karşı daha olumlu bir davranışa sahip olduğu belirlenmiştir (Khanpae *et al.* 2020).

Khaskhoussy vd. (2022), arıtılmış atık su ile sulamanın iki toprak tipinin ve mısır bitkisinin fiziksel-kimyasal özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kumlu ve siltli-killi toprak çeşitleri ile sulama suyu olarak da temiz su ve arıtılmış atık su kullanılmıştır. Arıtılmış atık su uygulamalarının mısır bitkisinin büyümesini ve beslenmesini etkilediği bildirilmiştir. Araştırma da bitki büyüme parametrelerinde olan iyileşme, toprakta N, P, K, Ca, Zn, Fe ve Mg gibi temel mikro ve makro besin maddelerinin artışından kaynaklanmış olabileceği ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda arıtılmış atık suyun çalışılan iki farklı toprak tipinin sulanması için uygun olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca arıtılmış atık suyun uzun vadeli kullanımı dikkate alındığında insan sağlığı açısından daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Ammeri *et al.* (2023), Tunus'un Gabes Bölgesinde arıtılmış belediye atık su uygulamasının toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine kısa, orta ve uzun vadeli etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada örneklenen toprak parselleri 1, 7 ve 15 yıl boyunca arıtılmış atık su ile sulanmıştır. Çalışmada pH, elektriksel iletkenlik, toplam organik karbon, toplam azot, kation değişim kapasitesi ve toplam CaCO₃ dahil olmak üzere fiziksel ve kimyasal analizler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen fiziksel ve kimyasal bulgular, arıtılmış atık sulama uygulamasının toprak verimliliğini iyileştirdiği vurgulanmıştır. Uzun süreli arıtılmış atıksu sulama uygulamalarının, toprak mikroorganizmalarının aktivitelerini ve ardından toprak verimliliğini artırdığı belirlenmiştir.

Tarımda Kısıtlı Sulama Uygulamalarının Etkileri

Tarımda bugüne kadar yapılan çalışmalar ile su tasarrufu sağlayan kısıtlı sulama programları konusunda yapılan araştırmalar önemini korumaktadır. Kısıtlı sulama uygulamaları mahsul üretiminden taviz vermeden su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına ulaşmak için iyi bir faktör olarak görülmektedir. (Ouda and Zohry 2020). Kuraklık koşulları altında optimum mahsul verimini korumak amacıyla araştırmacılar su kullanım etkinliğini ve üretkenliğini geliştirmek için yeni sulama stratejilerinden olan kısıtlı sulamaya yönelmişlerdir (Fernandes-Silva *et al.* 2018). Bu stratejinin gerçek hayattaki tarım uygulamalarında etkili bir şekilde nasıl uygulanabileceği hakkında eksik bilgilerin olduğu ve daha fazla çalışmanın yapılması gerektiği belirtilmiştir (Chai *et al.* 2016).

Istanbulluoglu (2009) tarafından, Türkiye'nin Trakya Bölgesi'nde farklı sulama seviyelerinin aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin tane verimi ve mevsimsel evapotranspirasyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla bir arazi çalışması yapılmıştır. Araştırmada sulama seviyeleri olarak dört farklı büyüme evresi (Va: ekim aşamasından itibaren 40–50 güne kadar, Vb: ekim aşamasından 70-80 güne kadar, F: Çiçeklenme dönemi yaklaşık %50 sulama, Y: Tohum doldurma dönemi) dikkate alınarak konular oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre Vb konusunda su stresinin önemli derecede etkili olduğu bildirilmiştir. Çalışmada En yüksek verim VaVbFY döneminde kaydedilmiştir. Araştırmada su stresi uygulanmayan konularda mevsimsel sulama suyu kullanımı ve evapotranspirasyon miktarları sırasıyla 501 ve 721 mm olarak kaydedilmiş olup, bu uygulamanın aspir tane verimi 5,22 t/ha ve 1000 tane ağırlığı 55 g olarak hesaplanmıştır.

Shahrokhnia and Sepaskhah (2016), farklı su stresi yöntemleri, dikim yöntemi ve farklı azot uygulama oranlarının aspir bitkisinin verim, su ve azot kullanım etkinlikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada sulama stratejisi olarak normal karık sulama (OFI) ve değişken alternatif karık sulama (VAFI) olan bitkide kısmi kök kuruluğu (PRD) yöntemi uygulanmıştır. Dikim yöntemleri olarak sırt üstü dikim (ORP) ve karık içi dikim (IFP) ve gübre seviyeleri olarak 0 (N0), 100 (N1) ve 200 (N2) kg/ha üre gübresi olarak 0, 46 ve 92 N kg/ha olarak uygulanmıştır. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre VAFI sulama tekniği sulama suyundan %30,2 oranında su tasarruf sağlamış olup aspir tohumu veriminde %13'lük bir azalma göstermiştir. Bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Çalışmada bitkinin verim tepki faktörü (Ky) 0,83 hesaplanmış olup, bu durum sınırlı su kaynakları olan bölgelerde aspir bitkisi VAFI yöntemi ile kullanılabileceği önerilmiştir. Araştırmada IFP dikim tekniğinin tohum veriminde %13,5 artışa neden olduğu özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, su kullanım etkinliği (WUE) ve diğer aspir özellikleri üzerindeki olumlu etkisinden dolayı uygun bir alternatif olarak kabul edilebileceği vurgulanmıştır.

Singh *et al.* (2016) tarafından, üç farklı aspir bitkisi çeşidinin (PI8311, 99OL ve Nutrisaff) su kullanım etkinliği ve yağ üretkenliğini değerlendirmek üzere bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada dört sulama uygulaması (FI: tam sulama, VS: vejetatif dönemde su stresi, RS: çiçeklenme sonrası su stresi, DL: tamamen kuru) altında aspir yetiştiriciliği gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre 99OL aspir çeşidinin, daha yüksek su kullanım etkinliği ve yağ verimi gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmada sulama uygulamaları ve çeşitlerinin yağ verimi üzerindeki etkileri her iki yılda da önemli olduğu belirtilmiştir. Her iki yılda da en yüksek yağ verimi FI uygulamasında gözlenmiş olup, 2013'te FI uygulamasının yağ verimi, RS uygulamasından farklı olmadığı bildirilmiştir. En düşük yağ

verimi, her iki yılda da VS ve DL uygulamasından elde edilmiştir. 2013 yılında RS ve VS konuları, tam sulama konusuna göre sırasıyla %27 ve %25 su tasarrufu sağlamış, yağ veriminde ise %17 ve %23 azalma gözlenmiştir. Aynı değerler 2014 yılında ise %21 ve %22 su tasarrufuna karşılık, %29 ve %25 yağ verimi düşüşü şeklindedir. Araştırma sonuçları RS uygulamasının VS uygulamasına kıyasla yağ verimine yönelik olarak daha verimli kullanabileceği ifade edilmiştir.

Bijanzadeh *et al.* (2022) tarafından, aspir bitkisini (*Carthamus tinctorius* L.) kızılötesi termometresi ile ürün su stres indeksi ölçülerek, bitkide en iyi sulama rejimini hesaplamak için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki farklı aspir çeşidi (Goldasht ve Local Isfahan) ve dört farklı sulama rejimi (%100 Tam sulama (FC), hafif (%75 FC), şiddetli (%50 FC) ve en şiddetli (%25 FC)) uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre her iki yılda da tam sulama uygulamasına göre şiddetli su stresi uygulamalarının yaprak nispi su içeriğini azalttığı, Goldasht aspir çeşidinin Local Isfahan çeşidine göre nispi su içerik değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Araştırmada tohum veriminin su stresine duyarlı olduğu ifade edilmiş olup her iki yıl içinde en yüksek tohum verimi tam sulama uygulamasında ve tohum çeşitleri arasında ise Goldasht aspir çeşidinde gözlemlendiği bildirilmiştir. Goldasht'ın tohum verimi, tam sulama, hafif, şiddetli ve en şiddetli su stresine göre sırasıyla 1571, 1152, 891 ve 393 g/m² olup Local Isfahan çeşidine göre %23, %20, %41 ve %18 daha fazla olduğu bildirilmiştir. Araştırma sonucu olarak tüm su stresi rejimlerinde Goldasht'taki tohum veriminin Local Isfahan çeşidinden daha fazla olduğu ve bu çeşidin su stresi koşullarında daha iyi adapte olabileceği ifade edilmiştir.

Pirzad and Mohammadzadeh (2018), iki adet mikoriza (*Funnelliformis mosseae* ve *Rhizophagus irregularis*) ile aşılınmış Lamiaceae türlerine (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* ve *Thymus vulgaris*) farklı sulama suyu düzeyleri altında su kullanım etkinliği üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmada sulama uygulaması olarak tarla kapasitesinin %75'i ve 50'si ve yağmur suyu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucuna göre *Thymus vulgaris* bitkisinde *Funnelliformis mosseae* mikorizası su kullanım etkinliğine faydalı yönde etkilediği belirtilmiş olup *Rosmarinus officinalis* mikorizasının herhangi bir etkisi görülmediği bildirilmiştir. Çalışmada uygulanan su kısıtının artması ile verim özelliklerinde azalmalar gözlenmiş olsa da uçucu yağ oranında artış olduğu bildirilmiştir. Çalışma bulguları kısıtlı sulamanın, bitkide su kullanım etkinliğini iyileştirebileceğini ifade etmektedir.

Hashem *et al.* (2018), su kaynaklarını etkin kullanmak için su tasarrufu sağlayan sulama teknikleri olarak görülen kısıtlı sulama (RDI) ve kısmi kök bölgesi kuruluğu (PRD) yöntemlerinin kullanım olanaklarını araştırmak için domates bitkisinin farklı sulama

rejimlerine karşı göstermiş olduğu etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada kısıtlı sulama suyu ve kısmi kök kuruluğu uygulamalarında tam sulama miktarının %70'i hesaplanarak uygulanmıştır. Tam sulama en yüksek stoma iletkenliğine, kısmi kök kuruluğu en düşük stoma iletkenliğine sahiptir. Tam sulama uygulamasında pazarlanabilir verimin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Kısıtlı sulama ve kısmi kök kuruluğu uygulamaları, domatesin meyve kalitesi parametrelerinden toplam çözünür kuru madde, C vitamini ve titre edilebilir asitlik değerlerini tam sulama uygulamasına oranla artırmıştır.

Shareef *et al.* (2018) tarafından, Kuzeybatı Çin'in aşırı kurak bölgelerinde yetersiz sulanan pamuğun su verimliliği ve büyümesi üzerine iki yıllık bir saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada tarla kapasitesinin %100 (D100), %80 (D80), %60 (D60) ve %40 (D40) belirlenerek dört farklı sulama seviyesi uygulanmıştır. Araştırma sonucunda bitkiye uygulanan sulama miktarları 510 mm (D40) ile 1079 mm (D100) arasında değişmiştir. Bitki büyümesinin ve yaprak su potansiyelinin kısıtlı sulamanın artması ile azaldığı gözlenmiştir. D80 sulama uygulaması bitkinin fotosentez ve stoma iletkenliğini %15 azaltırken, bu düşüş D60 ve D40 konularında daha fazla olmuştur. D80 sulama uygulaması D100 sulama uygulamasına kıyasla %13 verim düşüşüne neden olmuş ve ortalama pamuk veriminin 2433 kg/ha (D40) ile 4376 kg/ha (D100) arasında değiştiği gözlenmiştir. Araştırma bulgularında sulama düzeyleri ile bitki büyümesi ve fizyolojik özellikler arasında doğrusal bir korelasyon olduğu belirtilmiştir. Ekonomik değerlendirmenin ardından, bu sonuçlar pamuğun tarla kapasitesinin %80'ine kadar sulanmasının %20 su tasarrufu ile optimum verim ve net gelir sağlayacağını, D60'ın ise %40 su tasarrufu sağlayabileceğini ancak büyük verim ve kar kaybına neden olabileceği ifade edilmiştir.

Barzegar *et al.* (2018), su stresinin kavunun büyümesi, verimi, meyve kalitesi ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sulama suyu konuları hesaplanan gerçek evapotranspirasyon (ET_c) değeri üzerinden ilk yıl %100, %66 ve %33 olacak şekilde olurken ikinci yıl %100, %70 ve %40 olarak uygulanmıştır. Çalışma bulgularına göre %100 sulama suyu konusuna kıyasla diğer sulama suyu konularında (%70, %66, %40, %33) yaprak alanı, C vitamini, yaprak oransal su içeriği, meyve ağırlığı, meyve sertliği değerleri azalırken, bu değerlerin aksine prolin miktarı, meyvede briks oranı ve enzim aktivitesinin arttığı bildirilmiştir. Araştırmada verim 15,5 t/ha ile 43,4 t/ha arasında değişmiştir. En yüksek meyve verimi değerleri 2014 ve 2015 yıllarında I100 sulama konusundan (sırasıyla 40,37 ve 43,43 t/ha) elde edilmiş ve sulama konuları arasında önemli bir farkın olduğu vurgulanmıştır.

Türkiye’de farklı sulama düzeylerinin (A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen buharlaşma miktarının %50, 75 ve 100’ü) badem ağaçlarının büyüme özellikleri ve su kullanım etkinlikleri üzerine iki yıllık bir çalışma yürütülmüştür. Araştırma bulguları sonucunda yetiştirme sezonu boyunca minimum ve maksimum bitki su tüketimi değerlerinin 2014 ve 2015 yıllarında sırasıyla 256,45-299,72 mm, 325,82-396,76 mm arasında değiştiği bildirilmiştir. Çalışmada uygulanan sulama suyu miktarları artıkça bitki su tüketimi değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Çalışma bulgularına göre uygulanan sulama suyu konularının badem ağaçlarının büyüme parametrelerini istatistiksel yönde etkilemediği bulunmuştur (Erdem 2018).

Farklı sulama seviyeleri (TS: tam sulama, KS75: %75 kısıtlı sulama, KS50: %50 kısıtlı sulama, PRD100: Kısmi kök kuruluğu tam sulama, PRD75: %75 Kısmi kök kuruluğu ve PRD50: %50 Kısmi kök kuruluğu) ve aralıklarının (SA4: sulama aralığı 4 gün, SA8: sulama aralığı 8 gün ve SA12: sulama aralığı 12 gün) karpuzun klorofil içeriğine (SPAD) etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada SA4, SA8 ve SA12 için uygulanan minimum ve maksimum toplam sulama suyu miktarları, sırasıyla 76-300 mm, 159-266 ve 379-451 mm hesaplanmış olup bitki su tüketim miktarları ise 385-486 mm, 379-451 mm ve 391-447 mm arasında değişmiştir. Araştırmada elde edilen bulgular neticesinde en yüksek verimin SA4 sulama aralığının tam sulama uygulamasında (10.84 t/da), en düşük verim ise SA-12 sulama aralığının PRD-50 (4,52 t/da) uygulamasından elde edildiği bildirilmiştir. Klorofil içeriği değerlerinin sulama düzeyleri ve aralıklarına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Uygulamalarda su kısıtı ve aralığı artıkça SPAD değerlerinde azalışların gözlemlendiği ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda Karpuz bitkisinin SPAD 54,00 değerinde sulanması durumunda (SA4-TS) en yüksek verime ulaştığı bulunmuştur (Duraktekin vd 2019).

Rahimi *et al.* (2019) tarafından, üç farklı sulama seviyesinin (sulamaya bitki kök derinliğindeki elverişli nemin %25’i, %40’ı ve %55’inin tüketildiğinde başladığı) ve altı farklı gübre kombinasyonunun (0 kg/ha, 90 kg/ha üre gübresi, 70 kg/ha üre + 1 ton/ha vermikompost, 60 kg/ha üre + 1 ton/ha vermikompost, 30 kg/ha üre + 1 ton/ha vermikompost ve 1 ton/ ha vermikompost) fesleğen verimi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kısıtlı sulama uygulamalarının sürgün kuru ağırlığını, yaprak çözünür proteinlerini, klorofil içeriğini ve uçucu yağ verimini azalttığı gözlenmiştir. En yüksek toplam klorofil miktarı bitki kök derinliğindeki elverişli nemin %25’i tüketildiğinde başlanan sulama konusundan elde edilmiştir. Yaprakta çözünen protein miktarının en yüksek değeri bitki kök derinliğindeki elverişli nemin %40’ı tüketildiğinde sulama yapılan konuda gözlenmiştir.

Kalamartzis *et al.* (2019), Yunanistan’ın Selanik Aristoteles Üniversitesi’nde üç yerel fesleğen çeşidi ve ticari bir çeşidin tarla koşullarında su stresine toleransını belirlemek amacıyla

bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada bitki ihtiyacı için gerekli evapotranspirasyonun %40'ı ve %100'ü olmak üzere iki sulama seviyesi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda su stresinin bitkilerde yaprak alan indeksi, yaprak sıcaklığı, klorofil ölçüm değerleri, uçucu yağ içeriği ve kuru ağırlık parametrelerini etkilediği bildirilmiştir. Araştırma sonucunda kısıtlı sulama koşulları altında fesleğen yerel çeşitlerinin kalite ve veriminin yüksek seviyelerde tutulabileceği bulgusu ifade edilmiştir.

Kermani and Asadi (2019) tarafından, yüzey ve toprak altı damla sulama sistemleri ile uygulanan kısıtlı sulamanın su kullanım etkinliği ve pamuk verimi üzerindeki etkilerini araştırmak için iki yıl boyunca bir tarla denemesi yürütülmüştür. Uygulamalar; iki farklı sulama yöntemi (yüzey (S1) ve yüzey altı (S2) damla sulama) ve üç farklı sulama suyu miktarı (bitki su ihtiyacının %100 (L1, tam sulama), %80 (L2) ve %60 (L3) uygulandığı) şeklindedir. Tüm uygulamalar verim, su kullanım etkinliği ve yatırım tercihinin belirlenmesi de dahil olmak üzere ekonomik yönler açısından değerlendirilmiştir. İki yıllık karşılaştırmada, yüzey altı damla sulama sistemi (S2), yüzey damla sulama sistemine (S1) göre verim, su kullanım etkinliği, koza ağırlığı, koza sayısı ve bitki boyu değerlerini sırasıyla %10,8, %11, %7,45, %12,8 ve %11,2 oranında artırmıştır. Yapılan ekonomik analizde, yüzey altı damla sulama yönteminde (L1S2) tam sulamanın daha etkili olduğunu göstermiştir.

Hao *et al.* (2019) tarafından, geleneksel ve hibrit olmak üzere iki farklı mısır çeşidinde farklı sulama düzeylerinin (I100: tam sulama, I75: %25 eksiği ve I50: %50 eksiği) bitki verimi ve su kullanım etkinliğini araştırmak üzere dört yıllık bir çalışma yürütülmüştür. Araştırma bulguları, verim ve su kullanım etkinliğinin I100 ve I75 sulama konuları arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmadığını, bu değerlerin I50 konusu için sırasıyla %8,5 ve %10,5 daha yüksek değerler aldığını göstermiştir.

Sezen *et al.* (2019), Doğu Akdeniz'de damla sulama sistemi ile sulanan yer fıstığında kısıtlı sulama stratejilerinin verim etkisinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada iki sezon boyunca farklı sulama düzeylerinde ve aralıklarında sulama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Araştırmada buharlaşma kabından ölçülen değere göre (WL1 = 0.50, WL2 = 0.75, WL3 = 1,00 ve WL4 = 1,25) ve kısmi kök bölgesi kuruluşuna göre (WL5 = PRD50, WL6 = PRD75 ve WL7 = PRD100) toplam 7 sulama konusu ve buharlaşma kabından ölçülen değere göre (IF1: 25 mm; IF2: 50 mm; IF3: 75 mm) üç sulama aralığı konusu oluşturulmuştur. Çalışma bulgularına göre, her iki sezon boyunca en yüksek ve en düşük yer fıstığı verimi sırasıyla IF2-WL4 ve IF3-WL1 konularından elde edilmiştir. Kısmi kök bölgesi kuruluşu uygulamasında, aynı hacimde su miktarı uygulanan kısıtlı sulama uygulamalarına kıyasla daha yüksek verim değeri elde edilmiştir.

Hooshmand *et al.* (2019) tarafından, kısıtlı sulama (RDI) ve kısmi kök bölgesi kuruluğu (PRD) yöntemlerinin hidroponik kültürde domates üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada sulama konuları, bitki su ihtiyacının %85 ve %70'i de olmak üzere toplam beş farklı uygulamada gerçekleştirilmiştir. Araştırmada farklı sulama yöntemlerinin ve düzeylerinin bitki bileşenlerini, meyve verme aşamasına kadar önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir. Çalışma bulguları sonucunda en yüksek taze yaprak ağırlığının PRD85 (317,35 g) ve en düşük ağırlığın ise PRD70 (167,50 g) uygulamalarında gözlendiği, en yüksek yaprak kuru ağırlığının RDI70 (34,25 g) ve en düşük ağırlığın ise PRD70 (20,25 g) uygulamalarında olduğu bildirilmiştir. En yüksek yaprak alanı, yaprak alan indeksi ve yaprak alan oranı PRD85 uygulamasında (sırasıyla 435,79 cm², 3,48 ve 134,40 cm²/g) ve en yüksek spesifik yaprak alanı kontrol uygulamasında (883,82 cm²/g) gözlenmiştir. En yüksek meyve sayısı kontrol ve RDI85 uygulamalarından elde edilmiştir. En düşük değer ise PRD70 uygulamasında sayılmış ve kontrole göre %38 azalma gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda PRD85 kısmi kök bölgesi kuruluğu ile kısıtlı sulama uygulamalarının, domatesin hidroponik yetiştiriciliği için en iyi uygulama olarak seçildiği ifade edilmiştir.

García-Caparrós *et al.* (2019), su stresinin (*Lavandula latifolia*, *Mentha piperita*, *Salvia sclarea*, *Salvia lavandulifolia*, *Thymus capitatus* ve *Thymus mastichina*) türlerine etkisini değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada bitki su tüketiminin %100'ü, %70'i ve yağışa dayalı olmak üzere üç sulama konusu uygulanmıştır. Araştırma bulguları sonucunda, *L. latifolia*, *M. piperita* ve *T. capitatus* bitkileri kısıtlı sulama koşullarında istatistiksel açıdan önemli derecede taze ağırlık düşüşü gösterirken, çalışılan diğer türlerde değişim olmadığı gözlenmiştir. Uçucu yağ içeriği bakımından *L. latifolia* ve *S. sclarea* bitkilerinde kısıtlı sulama koşullarında azalma olduğu bildirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında *M. piperita*, *S. lavandulifolia*, *T. capitatus* ve *T. mastichina* bitkilerinin esansiyel içeriklerinde farklılık olmadığı, %30 oranında su tasarrufunun uygun olacağı vurgulanmıştır.

Akhoundnejad (2020), bazı domates (*Solanum lycopersicum*) genotiplerinin verim ve kalite açısından kuraklık stresine tepkisi üzerine bir araştırma yürütmüştür. Araştırmada üç farklı yerel domates çeşidi (Yarbaşı, Tepekoyu ve Fereng) ve bir de ticari domates çeşidi (Kamenta F1) kullanılmıştır. Araştırmada sulama uygulamaları A sınıfı buharlaşma kabından okunan değerlerin %100, %50 ve %25'i alınarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda %100, %50 ve %25 sulama uygulamasına karşılık gelen meyve boy değerleri sırasıyla 61,02 (mm) 58,36 (mm) ve 56,56 (mm) olup en yüksek meyve boy değeri %50 sulama suyu konusunda gerçekleşmiştir. Domates meyve çapları %100, %50 ve %25 için ortalama 50.61 mm, 48.90

mm, ve 47,16 mm olmuştur. Tepekoyu domates genotipinin meyve çapı 67 mm olarak tespit edilmiş ve bunun kontrol uygulamasından istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiştir. Briks oranı en yüksek %50 sulama konusunda tespit edilmiş olup, bunu %25 sulama konusu takip etmiştir. Çalışma sonucunda Fereng genotipinin %50 ve %25 kuraklık stresi koşullarında toplam verim değerleri açısından strese dayanıklı olduğu ifade edilmiştir.

Konya Ovası'nda ağaç kavununa aşılı karpuzun verim ve kalitesinin kısıtlı sulama koşulları altında araştırılması amacıyla 2017 ve 2018 yıllarını kapsayan bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada Crimson Tide çeşidi ile aşılı citroides1 (A1), citroides2 (A2), kabak (A3), hibrit TZ148 (A4) anaçları ve kontrol (K1, aşısız Crimson Tide) olmak üzere beş farklı bitki materyali kullanılmıştır. Sulama suyu uygulamaları A sınıfı buharlaşma kabından elde edilen buharlaşma miktarına göre (I100 = 1,00Ep; I75 = 0,75Ep; I50 = 0,50Ep; I35 = 0,35Ep ve I0 = yağışa dayalı) beş farklı seviyede gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda en yüksek evapotranspirasyon (ET) oranı A4-I100 konusunda gözlenmiştir. En yüksek verim 93,4 t/da ile A4-I100 konusunda elde edilmiştir. A4-I100 konusu, I100 aşısız gruba göre %35'e varan verim artışı sağlamıştır. Su verimliliği (WP) 7,1–17,4 kg/m³ arasında ve sulama suyu verimliliği (IWP) de 11,7–25,0 kg/m³ arasında değişmiş olup, aşılama ile WP ve IWP değerlerinde önemli bir artış sağlanmıştır. Çalışma sonucu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su tasarrufu sağlamak amacıyla ıslah programlarında ağaç kavununun karpuz anacı olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır (Yavuz *et al.* 2020).

Ozer *et al.* (2020) tarafından, kurak ve yarı kurak bölgelerde su kısıtı uygulamalarının çörek otunun (*Nigella sativa* L.) büyüme ve verim bileşenlerine etkisi üzerine iki yıllık bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada A Sınıfı Buharlaşma Kabı ölçümlerine dayalı olarak, %100, %80, %60 ve %40 kümülatif buharlaşmaya karşılık gelen dört sulama uygulaması (I1, I2, I3 ve I4) gerçekleştirilmiştir. Araştırmada I1 (tam sulama) uygulaması altında yetiştirilen parseller için maksimum tohum ve yağ verimleri kaydedilmiş olup, tam sulamada (I1) tohum veriminin 1413,5 kg/da olduğu, bu değer in I2, I3 ve I4 uygulamalarında sırasıyla %13,5, %18,9 ve %30,1 azaldığı belirtilmiştir. Tam sulama konusunda, sulama suyu kullanım etkinliği I2, I3 ve I4 uygulamalarına göre %6,2, %23,0 ve %37,6 daha düşük olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda yeterli su kaynaklarına sahip bölgelerde yetiştirilen çörek otu için tam sulamanın en verimli uygulama olabileceği, kısıtlı sulama uygulamalarının ise su verimliliğini artırabileceği ifade edilmiştir.

Chand *et al.* (2020) tarafından, farklı sulama seviyeleri (tarla kapasitesinin %60, %70, %80 ve %100'ünde tutulan toprak nemi içeriği) ve su kalitesi (yeraltı suyu, geri dönüştürülmüş atık su ve her ikisinin karışımı) altında serada yetiştirilen domates bitkisinin üretimi ve su

verimliliğinin değerlendirilmesi üzerine iki yıllık bir saksı çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, bitki üzerine hem kısıtlı sulamanın hem de sulama suyu kalitesinin istatistiksel olarak önemli etkileri olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada bitki boyu ($186 \pm 0,58$ cm) ve gövde çapı ($23,40 \pm 0.02$ mm) için en yüksek değerler tam sulamada (%100) bulunduğu ifade edilmiştir. Bitki başına toplam verim $2,33 \pm 0,03$ kg/bitki (%60) ile $4,05 \pm 0,06$ kg/bitki (kontrol) arasında değiştiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, tarla kapasitesinin %80'ni ile sulanan bitkilerde kontrole kıyasla önemli bir verim düşüşü olmaksızın sulama suyu kullanım verimliliği (IWUE) üzerinde olumlu bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Aynı sulama suyu düzeyleri arasında, arıtılmış atık suyun bitki büyümesi, verim ve su kullanım etkinliğini artırdığı belirtilmiştir.

Chattha *et al.* (2021), su kısıtlılığı toleransını araştırmak amacıyla iki sezon boyunca tam ve kısıtlı sulama koşulları altında 45 pamuk genotipi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada koza sayısı, pamuk verimi, toplam protein ve prolin içeriği araştırılmıştır. Araştırma sonucunda prolin değeri hariç, tüm parametrelerin su stresine olumsuz tepki verdiği gözlenmiştir. Çalışmada su stresi koşulları altında sezonluk pamuk verimi %52,83 ve %42,19; koza sayısı %48,44 ve %39,30; koza ağırlığı ise %8,94 ve %6,03 oranında azalma göstermiştir. Zou *et al.* (2021) tarafından, farklı büyüme evrelerinde farklı sulama seviyelerinin (ET'nin %100, %80 ve %60) mısır (*Zea mays* L.) bitkisindeki etkileri iki sezon boyunca araştırılmıştır. Farklı sulama suyu düzeyleri için, dane verimi 6392 ile 9362 kg/ha arasında; mevsimsel su kullanım etkinliği (WUE) 20,3 ile 34,9 kg/ha/mm arasında; sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ise 32,0 ile 58,1 kg/ha/mm arasında değişmiştir.

Abd El-Mageed *et al.* (2022) tarafından, tuzdan etkilenen topraklarda (8,20 dS/m), farklı ekim dönemleri ve sulama rejimleri altında toprak özellikleri, sorgum verimi ve su verimliliği üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan sulama düzeyleri bitki evapotranspirasyonunun %100, 90, 80 ve 70'i dikkate alınarak uygulanmıştır. Sulama seviyeleri arasında maksimum bitki verimi değeri tam sulama konusunda bulunmuştur. ET_c'nin %100 ile %90'ı arasında önemli bir istatistiksel fark görülmemiştir. Ayrıca maksimum su kullanım etkinliği %90 konusunda bulunmuştur. Çalışmada elde edilen bulgular sonucunda toprak profili içindeki en yüksek tuz birikimi, %100 konusuna kıyasla, %70 konusunda kaydedilmiştir. Su stresi koşullarında %90 konusunun sulama suyunda tasarruf sağlayabilmek ve veriminde önemli bir azalma olmaksızın kullanılabileceği bildirilmiştir.

Hajlaoui *et al.* (2022) tarafından, iki sezon boyunca kısıtlı sulama koşullarının üç farklı erik çeşidinde ('Black Diamond', 'Black Gold' ve 'Black Star') bazı kalite özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada tam sulamaya karşılık %50 su kısıtı uygulanmıştır. Araştırma

bulguları üç çeşidin kuraklık stresine farklı tepkiler gösterdiği yönündedir. Stoma iletkenliği ve yaprak su potansiyeli kısıtlı sulama uygulamalarında kontrol uygulamasına kıyasla düşüş göstermiş olup katı madde içeriği ve sertlik analizlerine olumlu bir artış yapmıştır. Bulgular sulama uygulamalarının meyve verimini etkilediğini göstermiştir. Meyve verimi kısıtlı sulama uygulamalarında, tam sulamaya kıyasla daha düşük olmuştur. Kısıtlı sulamadan en fazla etkilenen 'Black Gold' çeşidi olup, 'Black Star' ise en az etkilenen çeşit olmuştur. Ayrıca kısıtlı sulamanın erik çeşitlerinin boyut ve ağırlık üzerinde bir etki göstermediği belirtilmiştir. Tüm uygulamalarda 'Black Star' çeşidi en fazla meyve ağırlığına sahip olup onu 'Black Gold' ve 'Black Diamond' takip etmiştir. Araştırma sonucu olarak erik çeşitleri arasında 'Black Star' çeşidinin kısıtlı sulamaya en dirençli olduğu ifade edilmiştir.

Li *et al.* (2022) tarafından, yarı kurak bir iklimde iki yıllık bir süre boyunca (2020–2021) malç altında düzenlenen kısıtlı sulamanın (RDI) bal kabağı bitkisinde büyüme ve verim üzerindeki etkisini belirlemek için bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada bal kabağının dört büyüme döneminde (fide, asma uzatma, meyve genişlemesi ve olgunlaşma) ve üç sulama seviyesi (%75–85 tarla kapasitesi, %65–75 tarla kapasitesi ve %55–65 tarla kapasitesi) olacak şekilde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları hafif su kısıtı uygulamalarının verimi (45.966,90 kg/ha) istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir. Su kullanım etkinliğinin (12,47 kg/m³) arttığını ve kabak meyve kalitesini iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada fide döneminde su kısıtı uygulanabileceği diğer gelişim dönemlerinde yeterli sulamanın en iyi sulama stratejisi olduğu sonucu varılmıştır.

Tarımda Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakterilerin (PGPB) Etkisi

Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler tabiatları gereği bitki kök yüzeyi ve rizosfer toprağını kendilerine yaşam alanı edinmektedirler. Bu bakteriler bitki gelişimini, doğrudan ve dolaylı etki mekanizmalarıyla teşvik edebilmektedir. Doğrudan etki mekanizmaları olarak atmosferdeki serbest azotu bağlaması, fosforu çözmesi, enzim ve fitohormon üretmesi, su kullanım etkinliğini artırması ve bitkisel hormon üretimi gibi etkileri olup, bitki gelişimini olumlu yönde desteklemektedir (Singh 2018). Dolaylı etki mekanizmaları ise, bitkide sistemik direnci artırması, patojen gelişimini baskılaması ve patojen gelişimine karşı ürettiği bazı metabolitler sayesinde bitki gelişimini desteklemesi olarak sıralanabilir (Danish *et al.* 2020). Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler, tarım uygulamalarında biyogübre olarak ifade edilmektedir. Rizobakteriler genellikle *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Aereobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Azospirillum* ve *Xanthomonas* cinslere aittir (Khan *et al.* 2020). *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* ve

Enterobacter gibi bakterileri içeren farklı PGPR, bitki büyümesi ve metabolizması üzerindeki yararlı etkilerinden dolayı stres koşulları altında kullanılmaktadır (Ullah *et al.* 2016). Rizobakteri uygulamaları bitkilerde besin elementi alımını kolaylaştırdığı için bitki gelişimine olumlu katkılar sunmaktadır (Antoun 2013; Ghorbanpour 2013; Ali 2015; Mondani *et al.* 2019). Tarla ve serada PGPR uygulamalarının bitkilerin gelişimini etkilediğine dair araştırmalar söz konusudur (Camele *et al.* 2019; Zarei 2022).

Bazı araştırmacılar PGPR'lerin birçok bitki türünde erken çimlenme, bitki boyu, bitki ağırlığı, sürgün dokularının gelişmesi, kök büyümesi, yaprak alanını artırması, erken çiçeklenme, klorofil miktarında artış, yaprakta absisyon tabakasının oluşumunun gecikmesi, besin içeriğinin dengelenmesi gibi bir dizi mekanizma ile bitki gelişimini olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir (Ruzzi and Aroca 2015; Bulegon *et al.* 2016; Fan *et al.* 2017).

Sharifi (2012), farklı oranlarda azot gübresi ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) uygulamalarının Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin verim üzerine etkisini incelemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada PGPR uygulamaları olarak kontrol, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum* ve *Pseudomonas* suşları ile 0, 60, 120 ve 180 kg/ha azot gübresi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucu elde edilen bulgular sonucunda en yüksek tane verimi (1940,4 kg/ha) *Pseudomonas* suşu + 180 kg/ha azot uygulamasında gerçekleşmiş olup, en düşük tane verimi gübre ve aşılama yapılmamış uygulamalarda gözlenmiştir. Çalışma sonucunda tane verim özelliklerinin artırılması amacıyla *Pseudomonas* suşu tohum aşılama ile 180 kg/ha azot gübre uygulamasının önerilebileceği ifade edilmiştir.

Lack *et al.* (2013), bitki büyümesini artırıcı bakterilerin Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) verimi ve verim bileşenleri üzerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, bakteri uygulanmamış Kontrol, *Azotobacter Chroococcum*, *Azospirillum Brasilense*, *Pseudomonas Fluorescens*, *Azotobacter Chroococcum*+ *Azospirillum Brasilense*, *Azotobacter Chroococcum* + *Pseudomonas Fluorescens*, *Azospirillum Brasilense* + *Pseudomonas Fluorescens*, *Azotobacter Chroococcum* + *Azospirillum Brasilense* uygulamalarından oluşmuştur. Araştırma sonucunda bakteri aşılmasının tane verimi, biyolojik verim, bitki boyu ve bitki başına boğum sayısı gibi morfolojik özellikler üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada en yüksek tane veriminin (2284 kg/ha), aspir tohumlarının ekim sırasında *Azotobacter*+*Azospirillum*+*Pseudomonas* ile aşılandığı konuda gözlenmiş olup, en düşük tane verimi (1643,4 kg/ha) kontrol uygulamasında (aşılınmamış) tespit edilmiştir. Araştırmada verim parametrelerinin gelişimi üzerinde en etkili uygulamanın *Azotobacter*+*Azospirillum*+*Pseudomonas* bakteri konusunun olduğu

belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, aspir tohumuna bitki büyümesini artırıcı bakterilerle, özellikle bakteri kombinasyonu ile aşılama, ürünün morfolojik ve fizyolojik özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Heidari *et al.* (2014), aspir bitkisinde farklı oranlarda fosfor gübresi ve *Azospirillum* bakteri suşlarının bitki büyüme parametrelerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada iki farklı *Azospirillum* uygulaması (A1: aşılama yok, A2: *azospirillum* ve *azotobacter* ile aşılama) ile dört farklı seviyede fosforlu gübre (P1: gübre yok, P2: 100 kg/ha, P3: 150 kg/ha, P4: 200 kg/ha) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda sadece bakteri uygulanan konularda bitki başına maksimum baş sayısı A2 uygulamasında (26,35 adet), minimum baş sayısı ise (24,04 adet) aşılama yapılmayan konuda elde edilmiştir. Bakteri ve fosfor uygulamasının bir arada yapıldığı konularda ise bitki başına maksimum baş sayısı (28,45 adet) A2P3 uygulamasında elde edildiği, bitki başına minimum baş sayısı (20,5 adet) A1P1 muamelelerinden elde edilmiştir. A2P2 uygulamalarında maksimum bitki boyu (71 cm) elde edildiği belirlenmiş olup, minimum bitki boyu (33,54 cm) A1P1 konusunda belirlenmiştir. Araştırma sonucunda *azospirillum* bakteri suşunun bitki başına baş sayısı, bitki başına dal sayısı ve bitki boyu üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu ifade edilmiştir.

Nosheen and Bano (2014), iki büyüme mevsimi boyunca bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) ve kimyasal gübrelerin aspirin büyüme ve verim özellikleri üzerindeki ortak etkisini belirlemek üzere bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada kimyasal gübrenin tam (Üre 60 kg/ha ve DAP 30 kg/ha) yarım (Üre 30 kg/ha ve DAP 15 kg/ha) ve çeyrek dozlarda (Üre 15 kg/ha ve DAP 7,5 kg/ha) uygulandığı belirtilmiştir. PGPR olarak *Azospirillum brasilense* ve *Azotobacter vinelandii* bakterileri uygulanmıştır. En yüksek bitki boyu, dal sayısı, yaprak klorofili ve yaprak alanı *Azospirillum* ve *Azotobacter* ile tam doz kimyasal gübre uygulamasında kaydedilmiştir. Bitki sayısı, kaptilum ağırlığı ve tohum verimi açısından en yüksek değerler ise *Azospirillum brasilense* ile desteklenmiş yarım doz kimyasal gübre uygulamasında gözlenmiştir. En yüksek yağ içeriği değerlerine *Azospirillum*+yarım doz kimyasal gübre ve *Azotobacter*+tam doz kimyasal gübre uygulamaları ile ulaşıldığı ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda PGPR uygulamasının, kimyasal gübre kullanımını %50 azaltarak bitki büyümesini ve verimini iyileştirdiği, dolayısıyla sürdürülebilir tarımsal üretimde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Nosheen *et al.* (2016), azot ve fosfat (NP) gübreleri ile birlikte bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) uygulanmasıyla aspir tohumunun protein kalitesini iyileştirmek üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada iki aspir çeşidi (Thori and Saif 32) tohumları,

Azospirillum ve *Azotobacter* ile aşılanarak tarla koşullarında yetiştiriciliği yapılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgular sonucunda tohumun protein ve aminoasitler açısından çeyrek doz + *Azotobacter vinelandii* uygulamaları ile önemli gelişmeler (%55-1250) gösterdiği bildirilmiştir. Çeyrek ve yarım doz ile *Azospirillum* kombinasyonu aspir yaprağında hem doleasetik asit (IAA) (%90) hem de giberellik asit (GA) (%23-27) içeriğini artırmıştır. Araştırma sonucunda *Azospirillum* ve *Azotobacter* uygulamalarının NP gübre kullanımını önemli ölçüde azalttığı (%75'e kadar) ve aspir tohumu protein kalitesini ve miktarını artırabileceği ifade edilmiştir.

Saeidi *et al.* (2018) tarafından, farklı çeşit ve oranlarda gübre uygulamalarının Aspir ve Bakla bitkisi kalitesine etkisinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada farklı oranlarda kimyasal ve biyogübreler (F0: Kontrol, F1: %100 kimyasal gübre, F2: %30 Kimyasal + biyolojik gübre, F3: %60 Kimyasal + biyolojik gübre) uygulanmıştır. Biyogübre içeriği *Phosphate Barvar-2* ve *Azoto Barvar-1* bakterilerinin kombinasyonundan oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda bitkilerde kimyasal ve biyogübrelerin birlikte kullanımının her iki yıl için de aspir bitkisinin verim bileşenlerinde artışa neden olduğu bildirilmiştir. Çalışmada en yüksek protein ve yağ içeriği değerleri F3 uygulamalarında kaydedilmiştir. Asperde en yüksek tohum verimi (2792,92 kg/ha) ve biyolojik verim (8319,15 kg/ha) F3 uygulamasından elde edilmiştir.

Khademian *et al.* (2019), su stresi altında bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) aspirin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; su stresinin, bitkide yaprak-su içeriği, biyokütle, tane verimi ve protein değerlerini olumsuz etkilerken, *Azotobacter* + *Azospirillum* gibi biyolojik gübrelerin uygulanması bu parametreleri olumlu yönde etkilemiştir.

Ekin (2020), sulu ve kuru koşullarda aspir bitkisinin morfolojik performansını, verimini ve tohum kalitesini değerlendirmek amacıyla hümitik asit (HA) ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) aşılama uygulamalarının etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada sulu ve kuru koşullar altında iki hümitik asit seviyesi (200 ve 400 kg/ha) ve iki rizobakteriyel suş (*Bacillus megatorium* M3 ve *Bacillus subtilis* OSU142) ile birlikte kontrol uygulamaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda bakteriyel suşların, hümitik asit seviyeleri, sulu ve yağışa dayalı koşullar altında bitki büyümesini, tohum ve yağ verimini ve tohum besin içeriğini oldukça artırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, OSU142 suşunun 400 kg/ha hümitik asit ile birleştirilmiş uygulamasının, sulu koşullarda bitki büyümesi ve verimde en yüksek artışa neden olmuştur. Aynı kombinasyonun tohum ve yağ verimini sırasıyla %101,8 ve %127,6 artırdığı bildirilmiştir.

Tuz stresi altında yetiştirilen elma çeşidine *B. subtilis*, *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus sphaericus*, *Staphylococcus kloosii* ve *Kocuria erythromyxa* bakterileri uygulanması ile fizyolojik parametrelerinin değerlendirildiği bir çalışmada, PGPR uygulamalarının, elma üzerinde yaprak su içeriği, stoma iletkenliği, fotosentetik aktivite ve klorofil içeriği üzerine olumlu etkiler yaptığı ifade edilmiştir (Arıkan and Pırlak 2020). Nosheen *et al.* (2018) tarafından, aspir yağı kalitesinin iyileştirilmesi üzerine *Azospirillum* ve *Azotobacter* bakteri suşlarının etkisi incelenmiştir. *Azospirillum* ve *Azotobacter* uygulamasının sadece NP gübrelerinin kullanımını %50-%75'e kadar düşürmekle kalmayıp aynı zamanda çevre dostu, sürdürülebilir ve yeşil yakıt elde etmek için yağ kalitesini de iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Bayramoğlu *et al.* (2020) tarafından, bakteri uygulamasının çilek yetiştiriciliğinde tarımsal girdi kullanımına etkisi araştırılmıştır. Araştırmada çiftçi uygulaması kontrol olarak alınmış ve çiftçinin kullandığı NPK (Azot, Fosfor, Potasyum) gübre miktarı %33 ve %66 oranında azaltılmıştır. Çalışmada *Rhizobium*, *Bacillus* ve *Herbaspirillum* bakterileri 1:1:1 oranında karıştırılarak uygulanmıştır. Bakteri uygulaması, kullanılan gübre miktarı ve maliyeti düşürerek verimi artırmıştır. Çalışmada bakteriyel uygulamanın bu özellikleri ile sürdürülebilir tarımın evrensel ilkelerine uygun olduğu ifade edilmiştir. Telek vd (2019) tarafından, Kahramanmaraş baharatlık kırmızı biber alanlarından izole edilen 10 farklı rhizobakteri izolatının; kırmızı biberin (*Capsicum annuum* L.) verim ve bitkisel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda toplam meyve sayısı, kök yaş ağırlığı, bitki boyu, sürgün yaş ve kuru ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak yaş ağırlığı ve kuru ağırlığı özelliklerine olumlu artışlar sağladığı gözlenmiştir.

Dere (2021) tarafından, kuraklık stresi altında bakteri uygulamalarının domates bitkisi üzerine etkileri inceleyen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada Tom-29 yerel genotipi ve Falcon domates çeşidine kontrol, kuraklık stresi (kontrolün %50 eksik sulaması), kuraklık stresi + bakteri (Sıvı bakteri biyo-gübrenin içeriğinde %50 melas, %3 suda çözülebilir potasyum nitrat (K₂NO₃) ve geriye kalan %47'sinde ise *Basillus subtilis* (1x10⁹), *Bacillus licheniformis* (2x10⁶), *Bacillus megaterium* (1x10⁹) ve *Pseudomonas putita* (1x10¹⁰) bakteri türleri) uygulamalarının gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları sonucunda bakteri uygulamalarının Tom-29 genotipi ve Falcon çeşidinin bazı parametrelerinde olumlu ve olumsuz etkiler yaptığı belirtilmiştir. Bakteri uygulamasının Falcon çeşidinde kontrol koşullarında bitki çapı, bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı ve yaprak sayısını düşürmüş olup, SPAD değeri ve turgor potansiyelini artırdığını belirtilmiştir. Su stresi altında Falcon çeşidine uygulanan bakteriler, kök yaş ağırlığı, yaprak alanı ve bitki çapını olumlu etkilemiştir. Bakterilerin, kuraklık stresi altında Tom-29 genotipinin SPAD

değerini, turgor potansiyelini, yaprak alanını, bitki, yaprak ve kök yaş ağırlıklarını artırdığı bildirilmiştir.

Zhang *et al.* (2019), bitki büyümesini teşvik eden (PGPB) *Bacillus pumilus* bakterisinin *Glycyrrhiza uralensis* (Meyan) bitkisine etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada Kontrol, DB- (Tarla kapasitesinin %30-35 kuraklık stresi ile *B. pumilus* suşu ile aşılanmamış) ve DB+ (Tarla kapasitesinin %30-35 kuraklık stresi *B. pumilus* suşu ile aşılanmış) uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bakteri aşılama ları meyan bitkisinin kuraklık stresi altında büyüme parametreleri üzerindeki olumsuz etkiyi hafifletmiştir. Ayrıca *B. Pumilus* uygulamalarının kuraklık toleransını, klorofil içeriğini, etkin fotosentetik hızı ve mevcut su durumunu iyileştirdiği gözlenmiştir. Kuraklık stresinin, yaprak su içeriğini kontrole kıyasla önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. DB+ uygulaması, DB- uygulamasına kıyasla su kullanım etkinliğini %50 oranında artırmıştır. Araştırmada kuraklık stresinin kontrol uygulamasına göre, kök uzunluğu, gövde uzunluğu, yaprak alanı, kök, gövde ve yaprak kuru ağırlığı gibi parametreleri önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Bakteri uygulamasının DB- uygulamasına kıyasla kök uzunluğunu, gövde uzunluğunu, yan kök sayısını, kök kuru ağırlığını, gövde kuru ağırlığını ve yaprak kuru ağırlığını sırasıyla %26,09, %21,65, %28,41, %35,23, %31,87 ve %43,97 oranında artırdığı bildirilmiştir.

Bitki büyümesini destekleyici rizobakterilerin (PGPR) farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen marulların bazı fizyolojik özellikleri, bitki büyümesi, verimi ve bitki besin içeriği üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada üç farklı sulama seviyesi (I1: %100 sulama, I2: %75 sulama, I3: %50 sulama) ve kontrol, *Bacillus megaterium* TV 6D (B1) ve *Bacillus subtilis* TV 12H (B2)'den oluşan üç bakteri türü düzeyi uygulanmıştır. Marulun bitki büyümesi, verimi ve bitki besin içeriği, PGPR ve sulama miktarları tarafından önemli ölçüde etkilenmiştir. Araştırma sonuçları, azalan sulama miktarlarının her iki yılda da marulun büyümesini, kuru ve taze baş ağırlığını ve verimini, stoma iletkenliğini, yaprak nispi su içeriğini istatistiksel olarak önemli ölçüde azalttığı göstermiştir. Araştırmada PGPR aşılama larının, düşük sulama seviyelerinde yetiştirilen marul bitkilerinin büyümesini, besin elementi içeriğini, yaprak nispi su içeriğini, stoma iletkenliğini ve verimi önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, PGPR aşılama larının, düşük sulama koşulları altındaki marul bitkisinin büyümesi ve verimi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabileceği ifade edilmiştir (Sahin *et al.* 2015).

Farklı sulama suyu seviyelerinde (A-sınıfı buharlaşma kabından okunan değerlerin %100, %75, %50 ve %25'i olmak üzere) yetiştirilen lahana fidelerinin kuraklık stresine karşı fizyolojik gelişimlerini artıran *Bacillus pumilus* TV-67C, *Bacillus subtilis* TV-13B, ve *Bacillus megaterium* TV6D+*Pantoea agglomerans* RK-92+*Brevibacillus choshiensis* TV-53D

rizobakterilerin (PGPR) etkilerini incelemek üzere bir araştırma yürütülmüştür. Araştırmada PGPR uygulanmayan %75, %50 ve %25 konularında su kısıtının bitkide görsel hasara sebep olduğu ifade edilmiştir. PGPR uygulanan %75, %50 ve %25 konularında ise görsel hasarın azaldığı bildirilmiştir. Hasat sonucu en yüksek kuru ve yaş ağırlık, yaprak alanı ve gövde çapı değerleri *Bacillus subtilis* TV-13B uygulamasında olup, klorofil değerinde ise *Bacillus pumilus* TV-67C uygulamasında gözlenmiştir. Araştırma sonucunda kuraklık stresi arttıkça lahana bitkisinin gelişimi olumsuz yönde etkilendiği, ancak bitkilere ekimden önce PGPR uygulanması kuraklık stresi ile ortaya çıkacak olumsuzluğa karşı toleransın artırılmasında uygulanabileceği ifade edilmiştir (Samancıoğlu vd 2016).

Silva et al. (2019) tarafından, *Bradyrhizobium japonicum* ve *Azospirillum brasilense* ile tek başına veya kombinasyon halinde aşılamanın soya fasulyesinin bitki büyümesi ve kuraklık toleransı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Araştırma da kuraklık stresi olarak üç farklı sulama miktarı (%100, %50 ve %25) ile dört farklı bakteri aşılama (aşılanmamış kontrol, *Bradyrhizobium japonicum* ile aşılanmış, *Azospirillum brasilense* aşılanmış ve *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense*) uygulanmıştır. Soya fasulyesi bitkilerinin B. *japonicum* ve A. *brasilense* ile tek başına veya kombinasyon halinde aşılama, aşılanmamış bitkilerle karşılaştırıldığında kuraklık stresi koşullarında yaprak zarı stabilitesini iyileştirdiği gözlenmiş olup, yaprak su içeriğini kuraklık stresi altında tutmak için yeterli olmadığı belirtilmiştir. B. *japonicum* + A. *brasilense* birlikte aşılama şiddetli su stresi seviyesinde (%25 sulama seviyesi) bitki kök nodülasyonunu iyileştirdiği ifade edilmiştir. Araştırmada B. *japonicum* ve A. *brasilense*'nin tek başına veya kombinasyon halinde aşılama, orta dereceli kuraklık stresi altında bakla oranını azalttığını, ancak şiddetli kuraklık stresi altında hiçbir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda A. *brasilense* ve B. *japonicum*'un birlikte aşılama, soya fasulyesinin büyümesi üzerindeki kuraklık stresiyle ortaya çıkacak olumsuz etkiyi hafifletebileceği vurgulanmıştır.

Alharbi et al. (2022), tuzdan etkilenmiş topraklarda bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaların (*Bradyrhizobium japonicum* ve *Trichoderma harzianum*) ve potasyum humatın (K-humate) iki farklı sulama aralığında soya fasulyesinin büyümesi, üretkenliği ve tohum kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada bitkilere 12 günlük ve 18 günlük sulama aralığı konuları uygulanmıştır. Araştırma bulguları PGPM'lerin ve K-humatin birlikte uygulanmasının antioksidan savunma sisteminde (CAT, POX, SOD) ve yapraklarda K⁺ seviyelerinde olumlu bir iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kök uzunluğu, bakla ağırlığı, yaprak nispi su içeriği (RWC), stoma iletkenliği, fotosentetik pigmentler, etkin fotosentetik oran, çözünebilir protein, tohum karbonhidrat içeriği

ve ayrıca bakla sayısında önemli bir artışın olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonucu olarak, su stresi koşulları altında soya fasulyesi büyüme ve verim değerlerini en üst düzeye çıkarmak için PGPM'lerin ve K-humatin birlikte uygulanması gerektiği ifade edilmiştir.

Tanveer ve Ali (2022), *Bacillus* ve *Rhizobium* suşlarının kuraklık stresi altındaki maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.) bitkisine etkilerini değerlendirilmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada saksı denemeleri için, tekli ve karışık bakteri kültürleri uygulanan tohumlar sulama uygulamaları için tarla kapasitesinin %28, %20 ve %10'u olacak şekilde yapılmıştır. Bakteri seçimi olarak ise 10 *Bacillus* (Z-06, Z-10, Z-15, Z-17, Z-24, Z-35, Z-37, Z-38, Z-59, Z-66) ve 4 *Rhizobium* suşu (Z-18, Z-20, Z-23, Z-30) seçilmiştir. Çalışmada karışık kültürler için, C-1 (Z-66, Z-10, Z-20), C-2 (Z-37, Z-59, Z-30), C-3 (Z-59, Z-24, Z-23), C-4 (Z-35, Z-17, Z-20), C-5 (Z-15, Z-06, Z-30) ve C-6 (Z-37, Z-38, Z-18) kombinasyonlar (C) seçilmiştir. Araştırma bulguları sonucunda bakteriyel uygulama yapılan bitkiler, diğer bitkilere göre önemli bir gelişme göstermiştir. Çalışmada %10 konusuna uygulanan *B. simplex* (Z-37), C-1 ve C-3 bakterileri, kontrol konusuna kıyasla kök uzunluğunda sırasıyla %70, %170 ve %85 artışa sebep olmuştur. Sulama seviyesi %20 seçilen konuda uygulanan *R. rosetiformans* (Z-30), *B. cereus* (Z-59) ve C-3 bakterileri, kontrole kıyasla kök uzunluğunu sırasıyla %81, %85 ve %43 artırmıştır. Sulama seviyesi %28 seçilen konuda uygulanan *R. nepotum* (Z-23) ile bitkinin kuru ağırlığında yaklaşık %40 artış kaydedilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre su stresi altındaki saksı denemesi, bakteri suşlarının su kıtlığını hafifletme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.

Mondani *et al.* (2019), bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin soya fasulyesinin (*Glycine max*) verimi üzerindeki etkilerinin su eksikliği altında değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmada bitkiye üç farklı su stresi (I1: düz baklardan olgunlaşma dönemine kadar, I2: bakla dolumundan olgunlaşma dönemine kadar, I3: yaklaşık 7 günde bir tüm gelişme aşamalarında mevcut suyun %50'si azalmadan) ve iki farklı bakteri (B1: Kontrol, B2: *Bacillus subtilis*, B3: *Bacillus licheniformis*) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda tüm sulama konularında ölçülen en yüksek ve en düşük özellikler sırasıyla *B. licheniformis* ve kontrol uygulamasında gözlenmiştir. Aşılana PGPR'nin en büyük etkisi tane verimi (%22,9) ve protein içeriği (%18,8) ile I2 sulama konusunda gerçekleşmiştir. Çalışmada PGPR'nin en büyük etkileri, diğer uygulamalara kıyasla I2 konusunda gözlenmiştir. Çalışmada PGPR uygulamaları su stresi altında soya fasulyesi veriminin artırabileceği sonucuna varılmıştır.

Kotan vd (2021), *Bacillus subtilis* içerikli bir mikrobiyal gübrenin kullanım olanaklarının belirlenmesi amacıyla elma fideleri üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir.

Çalışmada *Bacillus subtilis* TV-17C bakteri izolatına sahip mikrobiyal gübre formülasyonu uygulanmıştır. Araştırmada toprak ve bitkide makro ve mikro besin elementleri seviyeleri ile bazı toprak parametre özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma bulguları sonucunda mikrobiyal gübre formülasyonunun bitki gelişim özelliklerinden hormon seviyelerini, toprak ve bitkide makro ve mikro besin element seviyelerini önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir.

Omara *et al.* (2022) tarafından, kompost ve faydalı rizobakterilerin tuzdan etkilenmiş toprakta kısıtlı sulamaya tabi tutulan buğdayın toprak özellikleri, fizyolojik özellikleri ve verimliliği üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Araştırma sonucunda kompost ile toprak ıslahı uygulamalarının değişebilir sodyum yüzdesini (ESP) azaltmada, PGPR uygulamalarından daha etkili olduğu belirtilmiştir. Araştırmada kompost ve PGPR uygulaması tam sulamada ESP'yi sırasıyla %33,9 ve %17,8; kısıtlı sulamada ise %23,4 ve %11,3 oranında azalttığı bildirilmiştir. Tam ve kısıtlı sulamada toprak ESP düzeylerinin düşürülmesinde en etkili uygulamanın kompost + PGPR kombine uygulaması olup, tam sulamada %47, kısıtlı sulamada ise %30 azaltmıştır.

Ghorbanpour *et al.* (2013), farklı sulama seviyeleri altında *Hyoscyamus niger*'in üretimi üzerinde rizobakterilerinin rolünün değerlendirilmesi amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Araştırmada iki farklı bakteri suşu olan *Pseudomonas putida* (PP) ve *Pseudomonas fluorescens* (PF) konusu ve tarla kapasitesinin %30(W1), %60(W2) ve %90(W3) olacak şekilde üç farklı sulama seviyesi konusu uygulanmıştır. Elde edilen çalışma bulguları ile en yüksek prolin içeriği W3 koşulları altında *Pseudomonas fluorescens* bakterisi uygulanan bitkilerde gözlenmiştir. Buna karşılık en yüksek kök ve gövde uzunlukları W1 koşulları altında *Pseudomonas putida* bakterisi uygulanan bitkilerde gözlenmiştir. Araştırmada uygulanan *Pseudomonas putida* bakterisinin düşük su stresi seviyelerinde etkili olduğu gözlenirken, *Pseudomonas fluorescens* bakteri uygulamaları yüksek su stresi seviyelerinde bitki büyüme parametreleri üzerine daha etkili olduğu bildirilmiştir. Araştırma sonucunda PP ve PF suşları ile aşılamanın, kuraklık stresinin bitki üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirdiği ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada rizobakterilerin farklı sulama seviyeleri ile kullanımının, *Hyoscyamus niger* bitkisinin büyüme ve içerik parametreleri için teşvik edici ve çevre dostu bir strateji olabileceği vurgulanmıştır.

Bacillus megaterium suşu TV-91C, *Pantoea agglomerans* RK-92 suşu ve *B. subtilis* suşu TV-17C aşılmasının lahanada fidelerinin büyümesi, besin maddesi ve hormon içeriği üzerindeki etkilerini gözlenmek için bir sera denemesi yapılmıştır (Turan *et al.* 2014). Araştırma sonucuna göre bitki büyümesini destekleyici rizobakteri (PGPR) uygulamaları, kontrole kıyasla lahanada fidelerinin taze ve kuru sürgün ve kök ağırlığını, gövde çapını, fide boyunu, klorofil okuma değerlerini ve yaprak alanını artırmıştır. Fidelerin yaprak alanı, gibberellik asit, salisilik asit ve

indol asetik asit (IAA) içerikleri için maksimum değerler *P. agglomerans* RK-92 uygulaması ile elde edildiği, *B. megaterium* TV-91C ile en yüksek fide besin içeriği ve büyüme parametrelerinin gözlemlendiği bildirilmiştir. Aşılamalar ayrıca gövde çapını, fide yüksekliğini ve SPAD klorofil değerlerini sırasıyla %47,5, %27,2 ve %5,8 artırmıştır. Ayrıca, *P. agglomerans* RK-92 bakteri uygulaması kontrol ile karşılaştırıldığında, giberellik asit, salisilik asit, IAA ve yaprak alanını sırasıyla %13,9, %70,9, %38,5 ve %27,3 artırmıştır. Araştırma sonucunda PGPR uygulamalarının, lahanalarda fide büyümesini ve kalitesini iyileştirebileceği ifade edilmiştir.

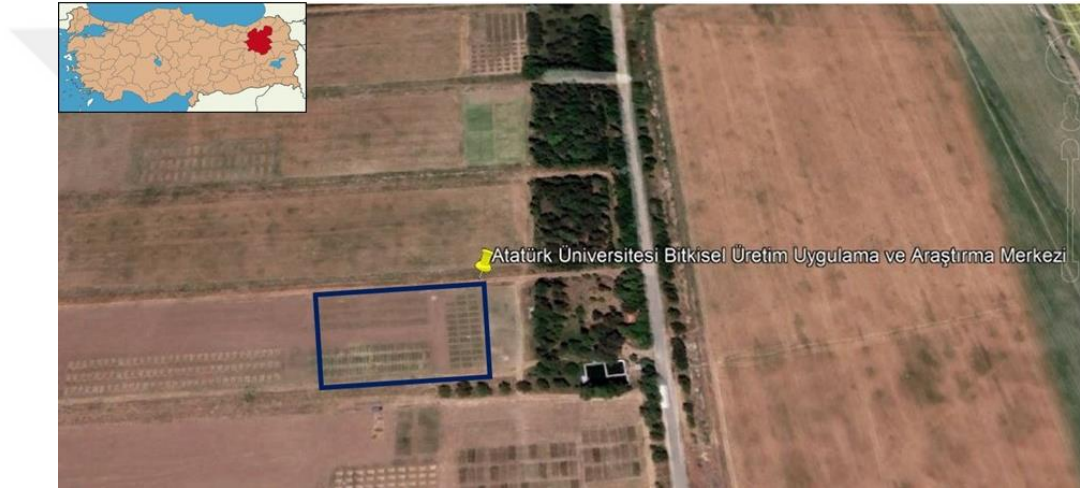
Farklı sulama düzeyleri koşulları altında yetiştirilen hıyar bitkisine ticari AMF preparatı ve kök bakteri karışımı uygulanarak bitki gelişim özellikleri ve verime olan etkileri incelenmiştir. Araştırmada A sınıfı buharlaşma kabından okunan değerlerin %33, %66, %100 ve %133'ü olmak üzere dört farklı sulama düzeyi uygulanmıştır. Çalışmada fungus ve bakteri aşılımları ise Kontrol, PGPR, AMF ve PGPR+AMF karışımı şeklindedir. Araştırmada elde edilen bulgulara göre ilk yıl en yüksek pazarlanabilir verim (6,21 ton/da) ve toplam verim (6,54 ton/da) PGPR uygulamalarında gözlenirken, ikinci yılda ise en yüksek pazarlanabilir verim (7,83 ton/da) AMF aşılmasında, en yüksek toplam verim ise AMF+PGPR aşılmasında (8,18 ton/da) elde edilmiştir. Çalışmada %133 sulama düzeyi pazarlanabilir verim ve toplam verim açısından her iki yıl için de en yüksek değerlere sahip olmuştur (Biçer vd 2020).

MATERYAL VE METOT

Materyal

Deneme alanı

Araştırma, Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne ait deneme alanında 2022 ve 2023 yıllarının Mayıs ile Eylül ayları arasında Aspir bitkisinin vejetasyon döneminde yürütülmüştür. Denemenin yürütüldüğü arazi denizden yaklaşık 1830 m yükseklikte; 39°55' Kuzey enlemi ve 41°16' Doğu boylamındadır.



Şekil 3. Araştırma alanının yetiştirme öncesi uydu görüntüsü



Şekil 4. Çalışmanın yürütüldüğü deneme alanından farklı görünüm

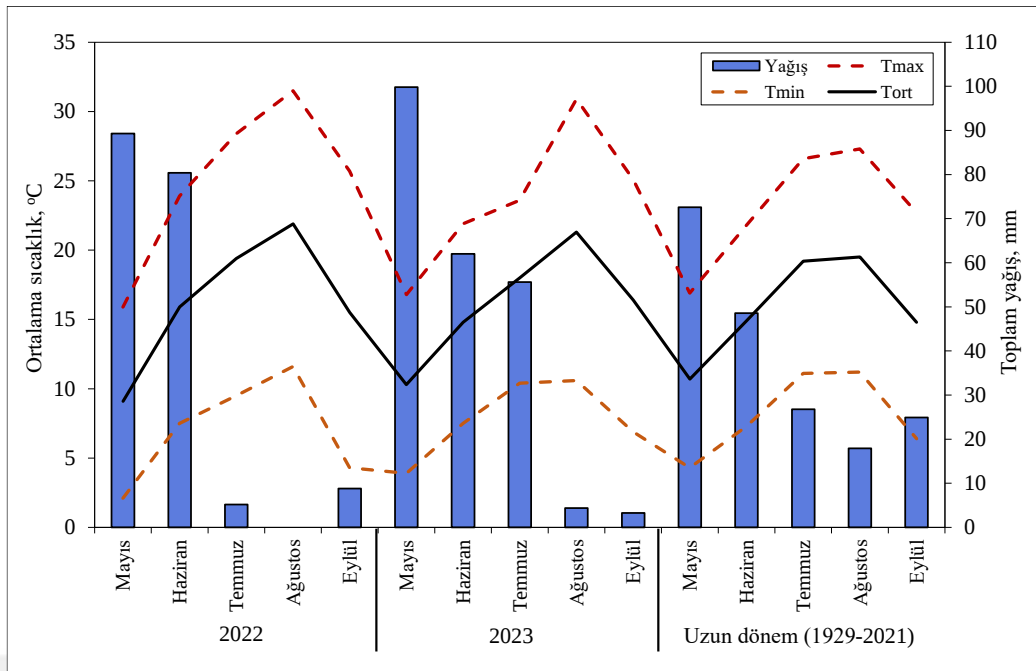
Araştırma alanının iklim özellikleri

Denemenin yürütüldüğü alana ait uzun yıllık ve araştırma yıllarına ilişkin kimi iklim verileri, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne bağlı Erzurum Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü kayıtlarından alınmıştır. Ayrıca, çalışmanın yürütüldüğü 2022 ve 2023 yıllarında ait yağış değerleri deneme alanına konumlandırılmış plüviyometre ile ölçülmüştür (Tablo 6).

Karasal iklim kuşağında yer alan Erzurum ili çoğunlukla yazları kurak ve serin, kışları ise genellikle soğuk ve kar yağışlıdır. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı fazladır. Çalışma aspir bitkisinin Mayıs ile Eylül ayları arasındaki yetiştirme döneminde yürütülmüştür. Çalışmanın yetiştirme döneminde en düşük sıcaklık değerine, 2022 yılında 2,1 °C ile Mayıs ayında, en yüksek sıcaklık değerine en yüksek sıcaklık değerine ise 31,5 °C ile Ağustos ayında; 2023 yılında en düşük sıcaklık değerine ise 3,9 °C ile Mayıs ayında, en yüksek sıcaklık değerine ise 30,9 °C ile Ağustos ayında ulaşılmıştır. Uzun yıllar ortalama yıllık yağış miktarı Mayıs-Eylül arasında 190,1 mm'dir. 2022 ve 2023 yıllarında aspir bitkisi vejetasyon periyodunda deneme alanına yerleştirilen plüviyometre ile ölçülmüş toplam yağış miktarları sırasıyla 183,7 mm ve 193,15 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

Tablo 6. Araştırma Bölgesine İlişkin Meteorolojik Veriler

	Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ortalama
Uzun Yıllar (1929-2021)	Ortalama Sıcaklık (°C)	10,7	14,9	19,2	19,5	14,8	15,82
	Ort. En. Yük. Sıcaklık (°C)	16,9	21,8	26,6	27,3	22,7	23,06
	Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	4,3	7,3	11,1	11,2	6,4	8,06
	Güneşlenme Süresi (h)	8	10,2	11,3	10,7	9,1	9,86
	Yağış (mm)	72,6	48,6	26,8	17,9	24,2	38,02
	Buharlaşma (mm)	118,92	175,56	243,2	205,6	146	177,85
	Bağıl Nem (%)	62,5	57,8	51,5	48,1	50,6	54,1
2022	Ortalama Sıcaklık (°C)	9,1	15,9	19,4	21,9	15,5	16,36
	Ort. En. Yük. Sıcaklık (°C)	15,9	23,9	28,4	31,5	25,7	25,08
	Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	2,1	7,5	9,5	11,6	4,3	7
	Güneşlenme Süresi (h)	7,8	9,2	12	11	9,6	9,92
	Yağış (mm)	89,3	80,4	5,2	0	8,8	36,74
	Buharlaşma (mm)	79,4	145	235	298	155	182,48
	Bağıl Nem (%)	67,3	62,8	48,1	36,2	42,6	51,4
2023	Ortalama Sıcaklık (°C)	10,3	14,8	18,0	21,3	16,4	16,16
	Ort. En. Yük. Sıcaklık (°C)	16,8	21,9	23,6	30,9	25,1	23,66
	Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	3,9	7,5	10,4	10,6	6,9	7,86
	Güneşlenme Süresi (h)	7,1	9,3	11,1	10,45	8,8	9,35
	Yağış (mm)	99,8	62	55,6	4,4	3,3	45,02
	Buharlaşma (mm)	106,5	137,6	196,8	236,7	153,1	166,14
	Bağıl Nem (%)	64,6	66,6	57,9	41,8	46,3	55,4



Şekil 5. Çalışma alanının uzun dönem ve deneme yıllarına ait minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve toplam yağış değişimleri

Araştırma alanının toprak özellikleri

Deneme öncesi başlangıç toprak özelliklerini belirlemek için tüm tarlayı temsil edecek şekilde 3 farklı noktadan 90 cm derinliğe kadar 30’ar cm’lik üç farklı tabakadan (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm) toprak örnekleri alınmıştır.

Denemenin yürütüldüğü alanlardaki toprakların bünye analizleri sonucunda, deneme topraklarının tüm katmaları kil oranı yüksek ağır bünyede olduğu belirlenmiştir. Anılan topraklar, orta derecede geçirgenliğe sahip, su tutma kapasiteleri yüksek, verimli tarım toprakları olarak nitelendirilmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanındaki toprak örneklerinin kimi fiziksel (toprak bünye sınıfı, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su miktarı, hacim ağırlığı, porozite) ve kimyasal özellikleri (EC, pH, organik madde (OM), kalsiyum karbonat (CaCO_3), toplam azot (toplam N), alınabilir fosfor (P_2O_5) ve potasyum (K_2O), değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)) Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 7’de görüldüğü gibi, toprağın hacim ağırlığı, $1,32 - 1,36 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmiştir. Tarla kapasitesi, ağırlık esasına göre, %25,6 – 30,8, solma noktası ise %13,11-16,01 değerleri arasında değişmiştir. Tarla toprağının 90 cm etkili kök derinliğindeki toplam kullanılabilir su miktarı 162,2 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, toprakların tuz içeriklerinin 1,33-1,42 dS/m, pH değerleri 7,55-7,61, CaCO_3 değerleri %1,31- 1,51 ve organik madde kapsamalarının ise %1,10-1,61 değerleri arasında olduğu saptanmıştır (Tablo 8). Ayrıca, toprakların mikro element (bor (B), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn), Çinko (Zn)) ve ağır metal (kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), Nikel (Ni)) içerikleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 7. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Tane Büyüklüğünün Dağılımı (%)				Tarla Kapasitesi (g/g, %)	Solma Noktası (g/g, %)	Yarayışlı Su (mm)	Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık	Porozite (%)
	Kil	Silt	Kum	Sınıf						
0-30	36,4	30,1	33,5	Killi-Tın	29,80	16,010	54,61	1,32	2,58	48,83
30-60	36,2	31,05	32,75	Killi-Tın	28,70	15,43	54,14	1,36	2,59	47,50
60-90	35,9	30,2	33,9	Killi-Tın	25,60	13,11	49,46	1,32	2,60	49,23

Tablo 8. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	EC (dS/m)	pH	OM (%)	CaCO ₃	Toplam N (%)	K ₂ O kg/da	P ₂ O ₅ kg/da	Na cmol/kg	Mg (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	K (cmol/kg)	KDK (cmol/kg)	ESP (%)
0-30	1,33	7,55	1,61	1,51	0,08	157,8	7,03	0,80	5,37	24,98	1,20	32,35	2,62
30-60	1,39	7,58	1,26	1,35	0,05	137,4	4,06	0,80	6,27	30,50	1,10	38,67	2,19
60-90	1,42	7,61	1,10	1,31	0,09	112,8	1,78	0,80	6,50	28,72	0,86	36,80	2,17

Tablo 9. Deneme Yeri Topraklarının Bazı Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri

Toprak Derinliği (cm)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)
0-30	0,189	5,30	1,80	4,64	42,44	0,67	0,028	0,166
30-60	0,181	5,21	1,48	3,88	35,82	0,85	0,017	0,164
60-90	0,182	5,15	1,27	2,76	30,61	1,05	0,014	0,164

Sulama suyu kaynakları

Çalışmada şebeke suyu ve arıtılmış atık su kullanılmıştır. Şebeke suyu Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi sulama şebekesinden alınırken, arıtılmış atık su ise Erzurum Büyükşehir Belediyesi Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin (BAAT) Karasu'ya deşarj edilen noktadan alınmıştır. Sulama uygulamalarından önce arıtılmış atık su, vidanjörleri aracılığı ile deneme alanına taşınarak 10 ton kapasiteli polietilen tankında biriktirilmiş (Şekil 6) ve biriktiren sular deneme konulara uygulanmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü yıllarda sulamada kullanılan temiz ve arıtılmış atık sularının analiz sonuçları, Tablo 12 ve Tablo 13'de verilmiştir.



Şekil 6. Arıtılmış atık suyun deneme alanına vidanjörle taşınması ve 10 ton kapasiteli depoya aktarımı

Damla sulama sistemi

Çalışmada, damla sulama sistemi kullanılmıştır. Damla sisteminde iletim sisteminde PE borulardan oluşan ana boru, manifold ve lateral borular kullanılmıştır. Ana borunun ve lateral boruların çapı 50 mm'dir. Damla sulama lateralleri her iki bitki sırasına bir lateral gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneme alanı topraklarının orta ağır bünyeli olması ve ortalama infiltrasyon hızının (7 mm/h) olması nedeniyle damlatıcı aralığı 0,20 m, lateral aralığı 0,60 m ve damlatıcı debisi ise 4 L/h olacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada 16 mm çapında içten geçik damlatıcı kullanılmıştır. Arıtılmış atık su ve temiz su uygulama bloklarındaki kontrol ünitesinde hidrosiklon, kum-çakıl filtre ve elek filtre düzeneği her blok için ayrı kullanılmıştır.



Şekil 7. Damla sulama sistemi

Araştırmada kullanılan bitki çeşidi ve özellikleri

Araştırmada kullanılan bitki materyali, Erzurum ekolojik koşullarına çok iyi adaptasyon sağlamış, vejetasyon süresi kısa, soğuğa toleransı yüksek Dinçer (5-18-1) çeşidi Aspir bitkisi (*Carthamus tinctorius* L.) kullanılmıştır (Şekil 8). Çalışmada kullanılan Dinçer (5-18-1) çeşidi Aspir bitkisi tohumları Eskişehir Zirai Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Dinçer Aspir çeşidi, çiçek rengi turuncu, tane rengi beyaz ve orta dikenli bir yapıya sahiptir. Bitki boyu 90 ile 110 cm arasında değişmektedir. Verim düzeyi kuru koşullarda 150 ile 250 kg/da arasında, sulu koşulda ise 350 ile 400 kg/da arasında değişmektedir. Ayrıca, bin tane ağırlığı 45 ile 49 g arasında, kabuk oranı %46, protein oranı %14 ve yağ oranı ise %28 ile 32 arasında değişmektedir. Yağ asitleri açısından oleik asit miktarı %14,2, linoleik asit miktarı ise %73,2'dir (Arslan vd. 2019).



Şekil 8. Dinçer Çeşidi Aspir Bitkisi Tohumu

Bakteri izolatları

Bu çalışmada kullanılan bakteri izolatları Prof. Dr. Recep Kotan'ın ülkemizdeki çeşitli kültür ve yabancı bitkilerin toprak üstü veya kök kısımlarından elde edilmiştir. Bakteri izolatları yağ asidi metil esterlerine göre Microbial Identification System (MIS) kullanılarak tanımlanmıştır. Kültürler Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümünde Mikroorganizma Kültür Koleksiyonunda Lauria Broth + %30 Glicerol içeren tüplerde muhafaza edilmiştir (Kotan et al. 2004; Kotan et al. 2009). Bu izolatların fosfat çözme, azot fiksasyonu, hormon ve amino asit üretimi bakımından etkinlikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri üzerinde çalışmalar yürütülmüştür (Gökçe ve Kotan 2014; Turan et al. 2014; Ekinci vd 2015). İzolatların içerisinde yukarıda sıralanan özellikleri dikkate alınarak seçilen toplam 9 bakteri izolaatı, karışım halinde aspir bitkisine 0, 1, 2 ve 3 kez uygulama olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Çalışmada Kullanılan Bakteri İzolatları

	Bakteri Türü	İzolat	Azot	Fosfor	Kaynak
1	<i>Bacillus megaterium</i>	M-3	+	K+	Karakurt vd. (2011)
2	<i>Bacillus megaterium</i>	KBA-10	K+	+	Ekinci vd. (2014)
3	<i>Bacillus megaterium</i>	TV-3D	K+	+	Sahin vd. (2015)
4	<i>Bacillus megaterium</i>	TV-91C	+	Z+	Sahin vd. (2015)
5	<i>Bacillus subtilis</i>	TV-17C	K+	Z+	Ekinci vd. (2014)
6	<i>Bacillus subtilis</i>	TV 12H	+	+	Sahin vd. (2015)
7	<i>Bacillus thuringiensis</i>	CP-1	K+	-	Kara vd. (2021)
8	<i>Pantoea agglomerans</i>	RK-79	+	+	Karakurt vd. (2010)
9	<i>Pantoea agglomerans</i>	RK-92	+	K+	Ekinci vd. (2014)

+: Pozitif, -:Negatif, K+: Kuvvetli pozitif, Z+: Zayıf pozitif

Metot

Deneme deseni

Deneme, tesadüf bloklarında faktöriyel deneme planına göre 3 tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür. Çalışmada ana parselleri arıtılmış atık su (A) ve temiz su (T) konuları oluşturmaktadır. Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarına (Eo) göre oluşturulan sulama konuları (S) ve bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB) uygulama konuları (R) ise alt parselleri oluşturmuştur (Şekil 9).

Her deneme parseli 3 sıralı olacak şekilde ekim gerçekleştirilmiştir. Deneme parselleri 180 cm genişliğinde, 8 m uzunluğunda olup, parseller arasında boydan 100 cm genişlikten ise 50 cm aralık bırakılmıştır. Lateraller arası 60 cm ve bir lateral iki bitki sırasını sulayacak şekilde planlama yapılmıştır. Arıtılmış atık su (A) ve temiz su (T) parsel blokları arasında 5 m aralık bırakılmıştır. Deneme parselleri çakılı olup, dolayısıyla iki vejetasyon süresince parsel konuları aynı kalmıştır. Deneme alanındaki parsel detayları Şekil 10'da verilmiştir. Deneme konuları aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Ana Konular

A : Arıtılmış atık su uygulamaları

T : Temiz su uygulamaları

Alt Konular (Sulama ve bitki gelişimini teşvik eden bakteri seviyeleri)

Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarına (Eo) göre oluşturulan sulama konuları (S) ve bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB) uygulama konuları (R) alt parselleri oluşturmuştur.

Sulama Alt Konuları

S0: Sulama uygulanmayan kontrol konusu,

S1: Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarının %100'ü kadar sulama uygulama konusu ($\Sigma E_o = 100$ mm),

S2: Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarının %100'ü kadar sulama uygulama konusu ($\Sigma E_o = 75$ mm),

S3: Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarının %100'ü kadar sulama uygulama konusu ($\Sigma E_o = 50$ mm),

S4: Class A Pan'dan elde edilen yığışimli buharlaşma miktarlarının %100'ü kadar sulama uygulama konusu ($\Sigma E_o = 25$ mm).

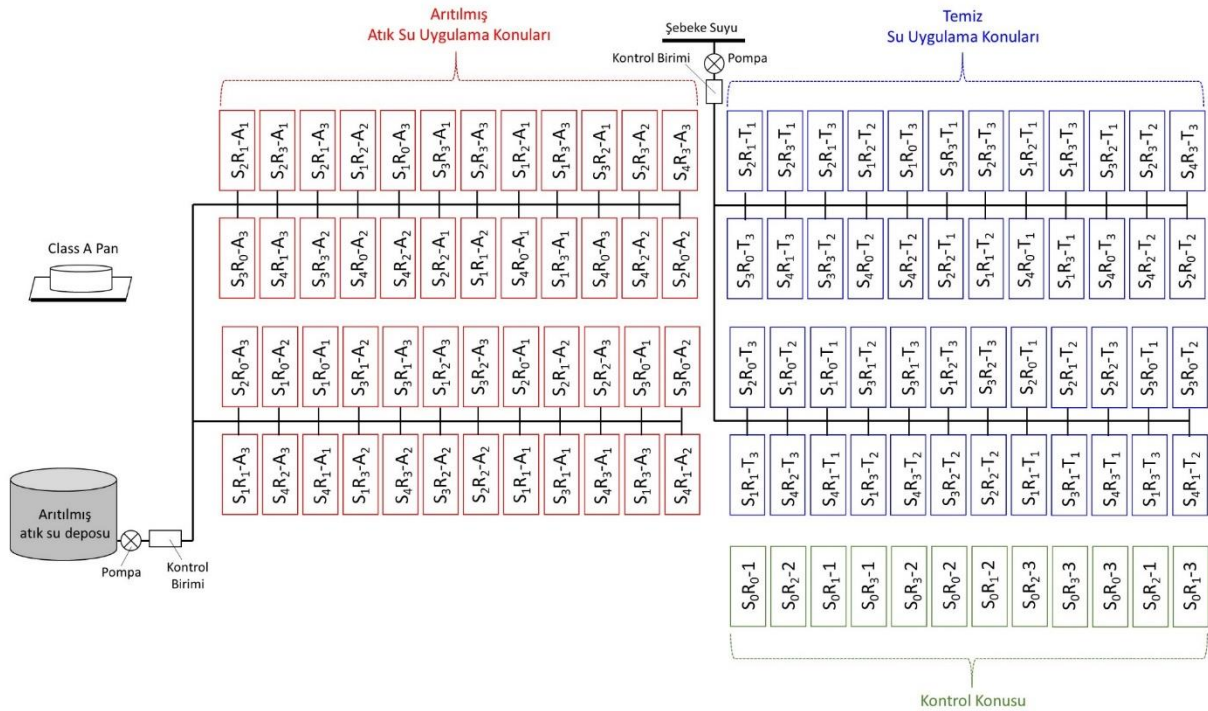
Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakteri (PGPB) Uygulama Alt Konuları

R0: Bakterisiz sıvı besi ortamı,

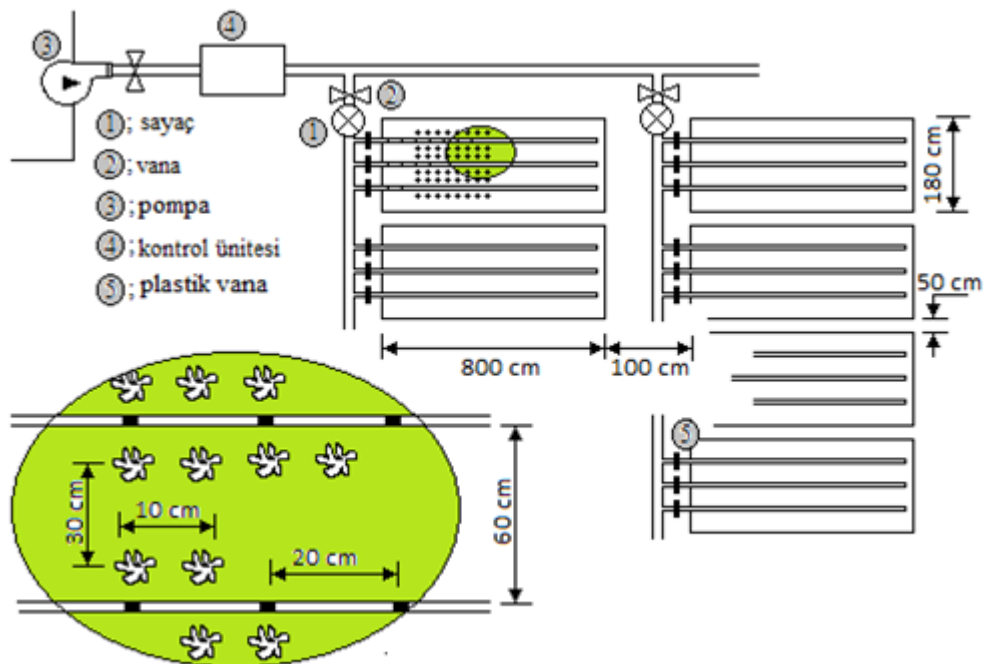
R1: Sıvı besi ortamı + 1 kez bakteri uygulanan konusu,

R2: Sıvı besi ortamı + 2 kez bakteri uygulanan konusu,

R3: Sıvı besi ortamı + 3 kez bakteri uygulanan konusu.



Şekil 9. Deneme planı



Şekil 10. Deneme planında parsel, sulama sistemi ve bitki düzenleme ayrıntıları

Toprak hazırlığı ve ekim

Deneme alanı ilkbaharda yüzlek bir şekilde sürülmüş olup, ardından diskaro ve tapan geçirildikten sonra tohum yatağı hazırlığı tamamlanmıştır. Araştırmada gübre olarak amonyum sülfat (%21) ve triple süperfosfat (% 46 P₂O₅) kullanılmıştır. Parsellere 4 kg/da fosforlu gübre ve 6 kg/da azotlu gübre serpme olarak uygulanmıştır (Polat, 2007)(Şekil 11). Toprağın tava gelme durumu dikkate alınarak 2022 yılında 13 Mayıs ve 2023 yılında 09 Mayıs tarihlerinde dekara 2 kg tohum gelecek şekilde markörle açılan sıra aralıklarına el mibzeri ile ekim gerçekleştirilmiştir (Sefaoğlu 2017)(Şekil 12).



Şekil 11. Arazi gübreleme işlemleri



Şekil 12. Markörle sıra açılması ve el mibzeri ile ekim işlemi

Tarlanın yabancı ot durumu göz önüne alınmak suretiyle her iki vejetasyon periyodu için yılda üç defa çapalama işlemi yapılmış ve bir defa da parselin kenar ve aradaki yabancı otları temizlemek için makine ile araları ve kenarlar sürülmüştür (İçen 2019)(Şekil 13). Bitki yapraklarının deforme olduğu, yapraklarının sarardığı devrede hasat edilmiştir. Hasat çalışması 2022 yılında 19 Eylül ve 2023 yılında 15 Eylül tarihi itibari ile gerçekleştirilmiştir. Hasatta her parselin kenarlardan birer sıra ve uç kısımlardaki 0,5 m'lik bölüm kenar tesiri olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra hasat edilen bitkiler kurutulduktan sonra makine ile harman edilerek tohumlar çıkarılmıştır (Şekil 14,15).



Şekil 13. Çapalama İşlemleri



Şekil 14. Aspir bitkisinin hasat zamanı görüntüsü



Şekil 15. Kurutulan aspir bitkisinin makine ile harman işlemi

Sulamada uygulanan sulama suyu miktarları

Deneme konuları A sınıfı buharlaşma kabının oransal yaklaşımları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Sulama uygulamaları A sınıfı buharlaşma kabından okunan değer yarayışlı suyun %50'sine denk gelen 50 ± 10 mm olduğunda gerçekleştirilmiştir.

Erzurum ili uzun yıllar buharlaşma ortalaması göz önüne alındığında seçilen buharlaşma değerleri bölgede sulamaların en yoğun yapıldığı temmuz ve ağustos aylarında yaklaşık 5 güne denk gelmiştir. Tohum ekiminden sonra 55. Günde (sapa kalkma tamamlandığı vejetasyon dönemi) tüm parsellerde 90 cm profil derinliğinde mevcut nemler tarla kapasitesine getirilerek sonrasında kısıtlı sulama uygulamalarına geçilmiştir (Polat 2007; Sefaoğlu 2017). Sezon sonuna kadar 90 cm etkili kök derinliği dikkate alınarak sulamalar sürdürülmüştür (Bortolheiro and Silva, 2017). Sulama suyunun hacimsel içerikleri, sabit buharlaşma miktarına göre A-Sınıfı Buharlaşma Kabından buharlaşan suyun derinlikleri %0, %25, %50, %75 ve %100 ile çarpılmış ve parsel alanıyla düzelttikten sonra su sayaçlarında denetlenerek parsellere uygulanmıştır. Her sulamada uygulanacak su hacimleri A sınıfı buharlaşma kabından okunan net buharlaşma miktarı dikkate alınarak aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir (Doorenbos and Pruitt 1984; Proebsting 1998).

$$I = A \times \sum E_p \times k_{cp} \times P$$

Eşitlikte;

I: Parsele uygulanan sulama suyu (L),

A: Parsel alanı (m²),

E_p: Sulama aralığındaki A-Sınıfı buharlaşma Kabı buharlaşma miktarı (mm),

k_{cp}: Bitki-pan katsayısı, alt konu olarak kullanılan değerleri ifade eder.

P: Islatılan alan yüzdesi (%)

Konuların su tüketimlerinin hesaplanmasında bütçe eşitliğine dayanan nem azalma metodu kullanılmıştır (James vd., 1982). Bu amaçla aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$ET = I + P - R_f - C_r - D_p \pm \Delta s$$

Eşitlikte;

I: parsele uygulanan sulama suyu, L;

A: parsel alanı, m²;

E_p: sulama aralığındaki A-Sınıfı buharlaşma Kabı buharlaşma miktarı, mm;

k_{cp}: bitki-pan katsayısı (alt konu olarak kullanılan değerleri ifade eder);

P: örtü yüzdesi, % (örtü yüzdesi bitkinin gölgelediği genişliğin sıra arası uzaklığına oranı şeklinde belirlenmiştir).

Deneme süresince düşen yağış miktarları, deneme alanına yerleştirilen plüviyometre ölçümleriyle belirlenmiştir. Sulamalar damla sulama yöntemiyle yapıldığından yüzey akış (R_f), kılcal yükseliş (C_r) ve Derine sızma miktarı (D_p) faktörleri dikkate alınmamıştır.

Su kullanım ve sulama suyu kullanım randımanının belirlenmesinde aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (Howell 2001).

$$WUE = \frac{Y}{ET_a}$$

$$IWUE = \frac{Y}{I}$$

Eşitlikte;

WUE = Su kullanıma randımanı, kg/m³;

WUE: Sulama suyu kullanma randımanı, kg/m³;

Y: sulu koşullarda elde edilen dane verimi, kg/da ;

ET_a: Gerçek evapotranspirasyon miktarı, mm;

I: Uygulanan sulama suyu miktarı, mm.

Bakteri solüsyonlarının uygulanması

Çalışma kapsamında 9 bakteri izolat karışım solüsyonu hazırlanarak kullanılmıştır. Karışımındaki bakteri yoğunluğu 10^9 kob/ml olarak ayarlanmıştır. Orijinal konsantrasyon 2 kat seyreltilerek 200 g şeker ve 5 L saf su ile karıştırılarak 1 gece bekletilmiştir. Hazırlanan solüsyon +4 °C’de muhafaza edilmiştir. Her uygulama öncesi solüsyon tekrar hazırlanarak yeni bir bakteri yoğunluğu 10^9 kob/ml ayarlanmıştır. Solüsyon uygulaması ilk olarak tohum yatağına, daha sonra bitkiye etkisini göstermesi amacıyla 10 gün aralıkla 40 L/da olacak şekilde uygulanmıştır (Şekil 16). Kontrol olarak bitki büyümesine etkisi bulunmadığı, bakterilerin yaşayıp çoğaldığı ve beslendiği olarak bilinen sıvı ortam sıvı bakteri besi ortamı kullanılmıştır.

Bakteri konuları R0: Bakterisiz Sıvı Besi Ortamı 1 Kez Uygulama, R1: 1 Kez Uygulama, R2: 2 Kez Uygulama ve R3: 3 Kez Uygulama olacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 16. Bakteri solüsyonlarının bitkilere uygulanması

Sulama sularının örneklenmesi ve su analizleri

2022 ve 2023 yılında dört kez (Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül) olmak üzere vejetasyon periyotlarında her ayı temsil edecek şekilde temiz ve arıtılmış atık sulardan örnekler alınmıştır. Laboratuvar ortamına getirilen örnekler 4°C’deki buzdolabında analizleri tamamlanıncaya kadar muhafaza edilmiştir. Su örneklerinde toplam azot (TN) ve fosfor (TP), katyonlar (Ca, Mg, Na, K), anyonlar (CO_3 , HCO_3 , SO_4 , NO_3 , Cl), bor (B), mikro elementler ve ağır metaller içerikleri (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI_5), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde, fekal koliform, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri analizler ile belirlenmiştir. Örneklerin yüzde sodyum (%Na), sodyum

absorbsiyon oranı (SAR) ve kalıcı sodyum karbonat (RSC) değerleri de hesaplama yoluyla elde edilmiştir.

pH ve Elektriksel iletkenlik (EC): pH ve EC metre ile belirlenmiştir (Şekil 17)(Ayyıldız 1983).



Şekil 17. Elektriksel iletkenlik ve pH ölçer

CO₃ ve HCO₃: Sülfürik asitle yapılan titrasyon ile belirlenmiştir (Sönmez ve Ayyıldız 1964).

SO₄: Hazır kit kullanılarak spektrofotometrede okumalar yapılmıştır (Altan 1998).

Cl: Potasyum kromat indikatörü kullanılarak gümüş nitrat (AgNO₃) ile titre edilerek belirlenmiştir (Tüzüner 1990).

KOİ ve BOİ₅: Alanya Çevre Laboratuvarı'nda KOİ analizi SM 5220 B standart metoduna göre analiz edilmiştir. Numuneler termoreaktörde reaktiflerle parçalama işlemine tabi tutulduktan sonra 600 nm dalga boyunda HACH LANGE marka DR 6000 spektrofotometrede okunarak konsantrasyon değeri belirlenmiştir (Şekil 18)(APHA, 1998).



Şekil 18. Kimyasal oksijen ihtiyacı cihazı

BOİ₅ analizi ise SM 4500-OB standart metoduna göre analiz edilmiştir. Numunelerin reaktiflerle karışımının inkübatörde 20°C sıcaklıkta 5 gün bekletildikten sonra WTW marka Multiparametre cihazında FDO 925-6 oksijen elektrotlu oksijen ölçer ile belirlenmiştir (APHA, 1998).



Şekil 19. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı cihazı

Askıda katı madde (AKM): Su örneği, düzenekli bir filtreden geçirilmiş, filtre edilemeyen materyal 105 °C’de kurutularak kalıntı miktarı hassas terazide tartılarak hesaplanmıştır (APHA 1995).

Toplam azot (TN): Kjeldahl yöntemine göre analiz edilerek hesaplanmıştır.

Toplam fosfor (TP): Su örneklerinin toplam fosfor analizi Agilent marka ICP-OES cihazı kullanılarak hesaplanmıştır.

Kasyonlar, mikro elementler ve ağır metaller (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni,B): Su örnekleri Anonim (2007)'de belirtilen yöntemlere göre analize

hazırlandıktan sonra Agilent marka İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazında okumalar yapılarak belirlenmiştir.

Fekal koliform: Fekal koliform analizi SM 9222 D standart metoduna göre analiz edilmiştir. Arıtılmış atıksulardan alınan örnekler 3 farklı dilüsyondan (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) sıvı besiyerine ekim yöntemiyle inkübasyon sonunda gelişme gösterenler pozitif olarak değerlendirilerek hesaplanmıştır. (APHA, 1998).

Toplam çözünmüş katılar (TDS): EC değerinden ($\mu\text{S/cm}$) faydalanarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{TDS (ppm)} = (\text{EC} \times 10^6) \times 0,64$$

Yüzde Sodyum (% Na), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC): Aşağıda Tablo 11’de yer alan eşitlikler yardımıyla me/L olarak iyon konsantrasyonları kullanılıp hesaplanarak belirlenmiştir (Richards 1954; Ehya and Mosleh 2018).

Tablo 11. SAR, RSC ve % Na Eşitliklerine Ait Formüller

$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$	(1)
$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^{2-}) + (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	(2)
$\% \text{Na} = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} * 100$	(3)

Toprak örneklerinin analizleri

Deneme alanında deneme kurulumundan önce üç farklı noktadan 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerinden toprak örnekleri alınmıştır. Toprağın fiziksel analizleri (bünye -Bouyocus-, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayıslı nem, hidrolik iletkenlik, özgül ağırlık, hacim ağırlık) analizleri yapılmıştır. Örneklerin verimlilik analizlerinde ise Elektriksel İletkenlik, pH, kireç, yarayıslı fosfor, yarayıslı potasyum, organik madde, toplam azot değerlerine bakılmıştır.

Bünye analizi: Toprakların kum, kil ve silt fraksiyonlarının oransal dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Şekil 20)(Demiralay 1993).



Şekil 20. El karıştırıcısı silindirin içine daldırılıp karıştırılma işlemi

Özgöl ve Hacim Ağırlık: Toprakların özgül ağırlığı Piknometre yöntemiyle, hacim ağırlığı ise silindir yöntemiyle etüvde 105°C’de 24 saat kurutulduktan sonra fırın kuru ağırlığının silindir hacmine bölünmesiyle belirlenmiştir (Blake and Hartge 1986).

Toplam porozite: Özgöl ve hacim ağırlıkları kullanılarak belirlenmiştir (US Salinity Laboratory Staff 1954).

$$\% \text{ Porozite} = 100 - \left(\frac{\text{Kütle yoğunluğu}}{\text{Tane yoğunluğu}} \right) * 100 \quad (4)$$

Agregat stabilitesi tayini: Islak eleme yöntemine göre hesaplanmıştır (Kemper and Rosenau 1986).

Tarla kapasitesi ve solma noktasında bulunan nem miktarları: Toprak numuneleri basınçlı tabla cihazına yerleştirilerek tarla kapasitesi için 1/3 atm, solma noktası için ise 15 atm basınç uygulanarak bu basınçlar altında tutulan nem miktarı hesaplanmıştır (Şekil 21) (Tinsley 1967).



Şekil 21. Basınç Plakası Cihazı

CaCO₃ analizi: Toprağın Scheibler kalsimetresinde seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO₂ gazının kapalı bir boruda tutularak

hacminin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin hesaplanması ile TS EN ISO 10693 standardına göre belirlenmiştir (Tüzüner 1990).

Organik madde analizi: Toprak örneklerinde Walkley-Black yöntemine göre organik madde miktarı belirlenmiştir (Walkley and Black 1934).

Toplam azot (TN): Kjeldahl yöntemine göre analiz edilerek hesaplanmıştır.

Alınabilir Potasyum (K) ve Fosfor (P): Olsen *et al.* (1954)'de belirtilen esaslara göre ve Knudsen *et al.* (1982)'ye göre amonyum asetat çözeltisinden geçen potasyum miktarı alev fotometresinde okunmuş, sonrasında dönüşüm katsayısıyla çarpılarak belirlenmiştir.

Alınabilir Ca, Mg, ve Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Ni, ve Pb: Toprak örnekleri belirtilen yöntemlere göre analize hazırlandıktan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazında okumalar yapılarak belirlenmiştir (Lindsay and Norvell 1978).

Kasyon değişim kapasitesi (KDK): Değişebilir kasyonların toplanmasıyla ($KDK = K + Ca + Mg + Na$) hesaplanmıştır (Sezen 1991).

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP): Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ESP = \frac{\text{Değişebilir Na}}{KDK} * 100 \quad (5)$$

Bitki analizleri

Büyüme mevsimi içerisinde ve mevsim sonunda aşağıdaki parametreler Kaçar (1972), ve Pahlavani (2005)'ye göre belirlenmiştir.

Bitki Boyu (cm): Her parselin kenar tesiri dışında kalan alanda, hasattan hemen önce tesadüfen alınan 20 bitkinin boyları, toprak yüzeyi ile bitkinin en üst tablası arasındaki mesafeleri cetvelle ölçülerek ortalama bitki boyu cm olarak kaydedilmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Bitki boyu ölçümü ile ilgili görsel

Tabla çapı (cm): Her parselden tesadüfen 20 bitkinin tablaları kumpas ile ölçülerek ortalamaları alınmıştır.



Şekil 23. Bitki tabla çapı ölçümü ile ilgili görseller

Gövde çapı (mm): Bitkiler olgunlaştığında 20 bitki kök boğazından ve en alt dalın gövdeden ayrıldığı kısımlarından kumpasla ölçülmüş ve bunların ortalaması alınarak gövde çapı tespit edilmiştir.

Dal sayısı (adet): Hasat edilen bitkilerden her parsel için şansa bağlı olarak seçilen 20 bitkinin dal sayıları sayılıp, ortalamaları alınmıştır.

Tabla sayısı (adet): Bitkinin hasat olgunluğuna ulaştığı devrede her parselden tesadüfen seçilen 20 bitkinin ana sapa ve yan dallara bağlı olgun tablaları sayılarak ortalaması alınmıştır.

Tabla başına tohum sayısı (adet): Her parselden tesadüfen tablalar kesilerek alınmış ve bunlar içerisindeki tohumlar sayılarak ortalaması alınmıştır.



şekil 24. Tabla başına tohum sayısı ile ilgili görsel

Bin Tane Ağırlığı (g): Her parsele ait tohumlardan 4 kez 100 tohum sayılarak tartılmış ve ortalaması alınmış, elde edilen sonuç 10 ile çarpılarak belirlenmiştir.

Tohum verimi (kg/da): Her bir parselden hasat edilen bitkilerin tohumları tablalardan ayrıldıktan sonra, elde edilen tohumlar hassas terazide tartılmış, ekim yapılan parsel alanı üzerinden orantı kurularak dekara verimleri kg olarak hesaplanmıştır.

Ham yağ oranı (%): Her alt parselden alınan örneklere Soxhlet metoduna göre 6 saat süre ile dietil eter ekstrasyonunda yağ analizi yapılmıştır (şekil 25).



şekil 25. Yağ oranı tayin cihazı

Yağ verimi (kg/da): Her çeşidin hesaplanan yağ oranı ve dekara tane verimi üzerinden yağ verimi hesaplanmış ve kg/da olarak ifade edilmiştir.

Ham Protein Oranı (%): Kjeldahl yöntemi ile önce azot oranı analiz edilmiş, daha sonra da bu değerler 6,25 katsayısı ile çarpılarak ham protein oranı % olarak belirlenmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. Kjeldahl yöntemi görseli

Bitkide Na, K, Ca, Mg, N, B, Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Ni, Pb, Co ve Cr element analizleri: Numunelerde ağır metal alımına ilişkin sonuçlar Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarına ait ICP-MS cihazı ile hesaplanmıştır (Şekil 27).



Şekil 27. ICP-MS Cihaz Görseli

Klorofil içeriği (SPAD) belirlenmesi: Yaprakların klorofil miktarına bağımlı olarak değişen yeşilin tonunu (SPAD) belirlemek amacıyla portatif klorofil metre (SPAD- 502; Konica

Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) ile güneşli havada günün 10:00 ile 14:00 saatleri arasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, bitki yetiştirme süresinin 60. günü her parselden üç bitkinin orta kısmındaki yapraklarından 10' ar okuma yapılmış ve okumaların ortalaması alınmıştır (Şekil 28) (Bonfim-Silva *et al.* 2015).



Şekil 28. Klorofil metre ve SPAD ölçümü

Stoma iletkenliğinin belirlenmesi: Su kısıtlamasına maruz kalan bitkilerin ilk verdikleri fizyolojik tepkilerden biri transpirasyon ile su yitirilmesini azaltmak için stomaların açılıp kapatılma hareketlerinin kontrol altına alınmasıdır. Ancak aynı zamanda CO₂ girişi de engellendiğinden bitkinin fotosentez etkinliği de bu hareketlerden direkt olarak etkilenmektedir. Çalışmada, aspir bitkisinin yapraklarında stoma direncini belirlemek için porometre (DT Porometer AP4 DELTA-T Devices Cambridge, UK) aygıtı kullanılmıştır. Ölçümler her bir parselin ortasında seçilen beş bitki üzerinde güneşi gören tam gelişmiş üst iki yaprağın altından ve üstünden açık hava koşullarında saat 12.00-14.00 arasında yapılmıştır (Şekil 29).



Şekil 29. Stoma iletkenliğinin ölçümü

Verilerin değerlendirilmesi

Araştırma sonucunda elde edilen veriler SPSS bilgisayar programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar için Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde temiz ve ikincil kademe arıtılmış atık su ile beş farklı sulama düzeyi (%100, 75, 50, 25 ve 0) ve farklı düzeylerde bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB) uygulama koşullarında (1, 2 ve 3 kez uygulama) yetiştiriciliği gerçekleştirilen aspir bitkisinin sulama suyu verimliliği, bitki fizyolojik özellikleri, verim ve kalitesi üzerine etkileri değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Sulama Sularının Özellikleri

Araştırmanın 2022 ve 2023 yıllarında temiz su ve arıtılmış atık suyun kullanıldığı bitki büyüme mevsimi boyunca Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalarında (Her ayın 13,14 ve 15. gün) alınan su örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC), pH, anyon ve katyonlar, mikro element ve ağır metal içerikleri, toplam fosfor (TP), toplam azot (TN), askıda katı madde (AKM), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), Yüzde Sodyum (%Na) ve fekal koliform değerleri Tablo 12 ve 13’de verilmiştir.

Tablo 12. 2022 Yılında Denemede Kullanılan Sulama Sularının Kalite Analiz Sonuçları

Parametreler	Haziran		Temmuz		Ağustos	
	Temiz Su	Atık Su	Temiz Su	Atık Su	Temiz Su	Atık Su
pH	7,94	7,02	8,12	6,79	8,02	6,96
EC (dS/m)	0,31	0,61	0,36	0,65	0,32	0,62
Ca (me/l)	0,92	2,36	0,90	2,65	0,96	2,54
Mg (me/l)	0,71	0,98	0,74	0,88	0,69	1,06
Na (me/l)	0,36	2,96	0,32	2,87	0,32	2,90
K (me/l)	0,095	0,96	0,101	0,94	0,096	0,90
CO ₃ (me/l)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ (me/l)	1,46	4,19	1,49	3,81	1,46	3,89
Cl (me/l)	0,51	2,05	0,48	1,76	0,53	1,94
SO ₄ (me/l)	0,13	0,14	0,14	0,16	0,11	0,15
B (mg/l)	0,025	0,063	0,025	0,061	0,023	0,058
Fe (mg/l)	0,046	0,067	0,048	0,061	0,045	0,0
Cu (mg/l)	-	0,006	-	0,004	-	0,004
Mn (mg/l)	-	0,012	-	0,010	-	0,012
Zn (mg/l)	-	0,07	-	0,05	-	0,05
Pb (mg/l)	-	0,0036	-	0,0024	-	0,0028
Cd (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Cr (mg/l)	-	0,001	-	0,001	-	0,001
Ni (mg/l)	-	0,003	-	0,002	-	0,003
TN (mg/l)	-	7,85	-	7,62	-	7,74
TP (mg/l)	-	1,21	-	1,18	-	1,20
AKM (mg/l)	-	11,16	-	13,22	-	11,54
KOİ (mg/l)	-	21	-	24	-	22
BOİ (mg/l)	-	4,4	-	3,5	-	3,8
SAR (%)	0,40	2,29	0,41	2,27	0,39	2,18
RSC (me/l)	-0,17	0,85	-0,15	0,28	-0,19	0,29
% Na	14,72	40,02	15,52	39,10	13,41	39,18
Fekal koliform (EMS/100 ml)	-	180	-	172	-	189
Toplam koliform (EMS/100 ml)	-	680	-	651	-	664

‘-’ : Tespit edilmemiştir.

Tablo 13. 2023 Yılında Denemede Kullanılan Sulama Sularının Kalite Analiz Sonuçları

Parametreler	Haziran		Temmuz		Ağustos	
	Temiz Su	Atık Su	Temiz Su	Atık Su	Temiz Su	Atık Su
pH	7,86	6,98	7,94	6,75	7,98	6,88
EC (dS/m)	0,29	0,64	0,33	0,60	0,34	0,58
Ca (me/l)	0,88	2,41	0,93	2,58	0,89	2,43
Mg (me/l)	0,67	1,04	0,78	0,93	0,66	0,96
Na (me/l)	0,32	3,03	0,38	3,14	0,31	3,05
K (me/l)	0,091	0,92	0,090	1,04	0,089	0,99
CO ₃ (me/l)	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ (me/l)	1,53	3,97	1,46	3,88	1,61	4,05
Cl (me/l)	0,45	2,08	0,45	1,91	0,44	2,02
SO ₄ (me/l)	0,11	0,14	0,16	0,12	0,13	0,15
B (mg/l)	0,021	0,058	0,024	0,055	0,026	0,048
Fe (mg/l)	0,042	0,061	0,045	0,053	0,041	0,056
Cu (mg/l)	-	0,005	-	0,003	-	0,003
Mn (mg/l)	-	0,010	-	0,011	-	0,010
Zn (mg/l)	-	0,06	-	0,03	-	0,04
Pb (mg/l)	-	0,0029	-	0,0021	-	0,0023
Cd (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Cr (mg/l)	-	0,001	-	0,001	-	0,001
Ni (mg/l)	-	0,002	-	0,003	-	0,002
TN (mg/l)	-	7,77	-	7,44	-	7,51
TP (mg/l)	-	1,33	-	1,24	-	1,31
AKM (mg/l)	-	11,63	-	10,41	-	12,84
KOİ (mg/l)	-	20	-	21	-	24
BOİ (mg/l)	-	3,4	-	3,6	-	3,8
SAR (%)	0,397	2,33	0,444	2,47	0,386	2,42
RSC (me/l)	-0,02	0,52	-0,25	0,37	0,09	0,66
% Na	16,31	40,09	17,43	40,83	15,90	40,90
Fekal koliform (EMS/100 ml)	-	154	-	158	-	172
Toplam koliform (EMS/100 ml)	-	672	-	666	-	658

‘-’ : Tespit edilmemiştir.

Tablo 12 ve 13 incelendiğinde araştırmada kullanılan temiz suyun pH değerlerinin ilk yıl ortalaması 8,02 ve ikinci yıl ortalaması 7,92 olarak belirlenmiş, arıtılmış atık suyun pH değerinin ise ilk yıl ortalaması 6,93, ikinci yıl ise 6,87 olarak hesaplanmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ndeki Kıtaçi su kaynakları sınıflandırmasına (Anonim 2008)’na göre kullanılan suların pH değerleri 6,50-8,50 arasında yer aldığından 1. sınıf sular olarak kabul görmektedir. Araştırmada kullanılan temiz suyun her iki yıl EC değerleri 0,29-0,36 dS/m arasında, arıtılmış atık suda ise 0,58-0,65 dS/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler FAO tarafından verilen sınır değerlerin altında olup, sorun oluşturmada kullanılabilecek sınıftadır (Ayers and Westcot 1985). Damla sulama sistemlerinde damlatıcı tıkanmalarının en önemli faktörü askıda katı madde (AKM) miktarları olarak bilinmektedir (Gilbert *et al.* 1980; Kuşlu *et al.* 2005). Çalışmada kullanılan arıtılmış atık suların AKM değerleri 11.16-13.22 mg/l olarak belirlenmiştir. Söz konusu AKM değerleri Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010)’ne göre AKM miktarları damlatıcıları tıkanma potansiyeli açısından “<

50 mg/l” olduğundan sorunsuz sınıfına girmektedir. Deneme süresince damlatıcı debilerinde herhangi bir azalışın olmaması da tıkanma riskinin yaşanmadığını desteklemiştir.

Denemede 2022 yılı ortalama Ca miktarı temiz suda 0,90-0,92 me/l, arıtılmış atık suda 2,36-2,54 me/l, 2023 yılı ortalama Ca miktarı temiz suda 0,88-0,93 me/l, arıtılmış atık suda ise 2,41-2,58 me/l olarak bulunmuştur. Mg miktarları ise 2022 yılı temiz suda ortalama 0.69-0.74 me/l, arıtılmış atık suda 0,88-1,06 me/l, 2023 yılı temiz suda 0,66-0,78 me/l, arıtılmış atık suda 0,93-1,04 me/l olarak belirlenmiştir. Ayers and Westcot, (1985)’e göre her iki yıl Ca ve Mg değerleri incelendiğinde FAO’da verilen sınır değerlerin altında olduğu söylenebilir. Denemede kullanılan SO₄ konsantrasyonları 2022 yılı temiz suda ortalama 0,11-0,14 me/l, arıtılmış atık suda 0,14-0,16 me/l, 2023 yılı temiz suda 0,11-0,16 me/l, arıtılmış atık suda 0,12-0,15 me/l olarak belirlenmiştir. Denemede kullanılan suların SO₄ konsantrasyonu 4 me/l değerinin altında olup I. sınıf “çok iyi” su sınıfına girdiği belirtilmektedir (Kanber ve Ünlü 2010). Çalışmada hem arıtılmış atık su hem de temiz su örnekleri Cl içerikleri dikkate alındığında “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010) sulama da herhangi bir sorun oluşturmeyen I. Kalite sular sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Yüksek toksik etkiye sahip olan başka bir iyon ise Bor’dur. Araştırmada her iki yıl için suların Bor içerikleri 0,021-0,063 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan suların her iki yıl değerleri de Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010)’ne göre “kullanılmasında herhangi bir sakınca olmayan sular” kategorisinde yer almaktadır. Denemede her iki yıl için kullanılan arıtılmış atık suyun Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Cd, Ni ve Pb içerikleri “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” (Anonim 2010) ve arıtılmış atık su “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıtaiçi su kaynakları sınıflandırması’na göre (Anonim 2008) sınır değerlerinin aşağısında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan arıtılmış atık sular azot ve fosfor bakımından zengin olup, bitki gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Çalışmada uygulanan arıtılmış atık suların azot ve fosfor değerleri sırasıyla 2022 yılı ortalaması 7,73 mg/l ve 1,20 mg/l ile 2023 yılı için ise 7,57 mg/l ve 1,29 mg/l arasında belirlenmiş olup, bu değerler dikkate alındığında Tablo 3’deki sınıflandırmaya göre IV. sınıf sular kategorisinde yer aldığı görülmektedir (Anonim 2008).

Atık suların kirlilik seviyesini belirlemede önemli parametre olarak düşünülen kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅) içerikleridir. Bu değerler 2022 yılında sırasıyla ortalama 22,33 mg/l ve 3,9 mg/l; 2023 yılında ise 21,65 mg/l ve 3,60 mg/l olarak belirlenmiştir. Tablo 3’de verilen sınırlar dikkate alındığında BOİ₅ değerleri açısından II. kalite su ve KOİ bakımından ise I. Kalite su sınıfında yer aldığı görülmektedir (Anonim 2008). Azotun aşırı birikimiyle birlikte, sucul ortamlarda alg ve bitki popülasyonlarının artması,

ötrofikasyon adı verilen bir süreci tetikler. Bu süreçte, artan alg ve bitki miktarı suyun oksijen seviyelerini düşürür, suyu bulandırır, rengini değiştirir ve kötü kokular oluşturur; sonuç olarak suyun kullanılabilirliği azalır ve kirlenebilir (Doğan Demir 2016). Atık sularda TN 0-20 mg/l arası konsantrasyonlarda bulunabileceği ifade edilmiştir (Belmonte *et al.* 2011).

Atık suların içeriğinde bulunan fekal koliformlar sağlık açısından birçok hastalığa sebep olabileceğinden, uygulamalarda dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerin başında gelmektedir. Koliformların sulardaki miktarı 100 ml’de en muhtemel sayı (EMS/100 ml) olarak ifade edilmektedir. Çalışmada ilk yıl arıtılmış atık su örneklerinin fekal koliform değeri ortalama 180,33 EMS/100 ml, toplam koliform değeri ise 665 EMS/100 ml iken, ikinci yıl ise ortalama fekal koliform değeri 161,35 EMS/100 ml, toplam koliform değeri ise 665,24 EMS/100 ml olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırmasına göre fekal koliform ve toplam koliform için II. sınıf su kategorisinde yer almış olup, “kullanılmasında bir sakınca bulunmayan sular” sınıfında yer almıştır (Anonim 2008).

SAR parametresi, Na iyonlarının toprakta tolerans sınırından fazlasının adsorbe olması eğilimini temsil etmektedir (Zaidi *et al.* 2016). Çalışma alanında alınan örneklerde ilk yıl ve ikinci yıl SAR değerlerinin Ayers and Westcot, (1985)’e göre sulama suyu olarak kullanılabilir sınırlar içerisinde yer aldığı gözlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010). Tarımsal sulama için EC ve SAR parametreleri dikkate alındığında ve arıtılmış atık su örnekleri ABD tuzluluk diyagramı kullanılarak değerlendirildiğinde, örneklerinin tamamının C2-S1 sınıfında yer aldığı görülmekte olup, sulama yönünden uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Sodyum yüzdesi (%Na), sulama suyu kalitesini değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken temel faktörlerdir. Sodyumdan oluşan tüm katyonların fraksiyonu, sodyum yüzdesi (%Na) olarak adlandırılmaktadır. Sodyum konsantrasyonu yüzde olarak ifade edilmektedir (Bhunia 2022). Arıtılmış atık suyun %Na değerleri incelendiğinde ilk yıl ortalaması %39,42 ve ikinci yıl ise %40,60 olarak hesaplanmıştır. Arıtılmış atık su örnekleri içerisinde % Na değerlerinin temiz su örneklerine göre daha yüksek çıktığı gözlenmiş olsa da, iki su örneği de sulamada kullanılabilir su sınıfında yer almıştır. Sulama sularında kalıcı sodyum karbonat (RSC) toprakların fiziksel özelliklerini bozmakta ve sodyumlu toprakların oluşumlarına neden olmaktadır. Bu topraklara siyah alkali topraklarda denilebilmektedir (Kundu and Ara, 2019). Araştırmada RSC değerlerine bakıldığında tüm sulama sularının, RSC bakımından sınır olan 2,5 değerini geçmediği ve sulama suyu olarak uygun sınıfta olduğu tespit edilmiştir (USEPA 1999; Mandal *et al.*, 2019).

Denemede sulama uygulamaları süresince örnekler değerlendirildiğinde arıtılmış atık suyun analizlerinde birinci ve ikinci yıl açısından önemli bir fark görülmemiştir. Atık suyun “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması (Anonim 2008) ve “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” (Anonim 2010) ile uluslararası diğer ölçütlere göre incelendiğinde sulama suyu olarak kullanımında herhangi bir sorun oluşturmayacağı söylenebilir.

Sulama Suyu Miktarları

2022 ve 2023 yılları konulara uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları Tablo 14’de verilmiştir. Temiz su ve arıtılmış atık suyla tam sulama konularında eşit miktarlarda sulama suyu uygulanmıştır.

Tablo 14. 2022 ve 2023 Yılında Aylık ve Mevsimlik Sulama Suyu Miktarları (mm)

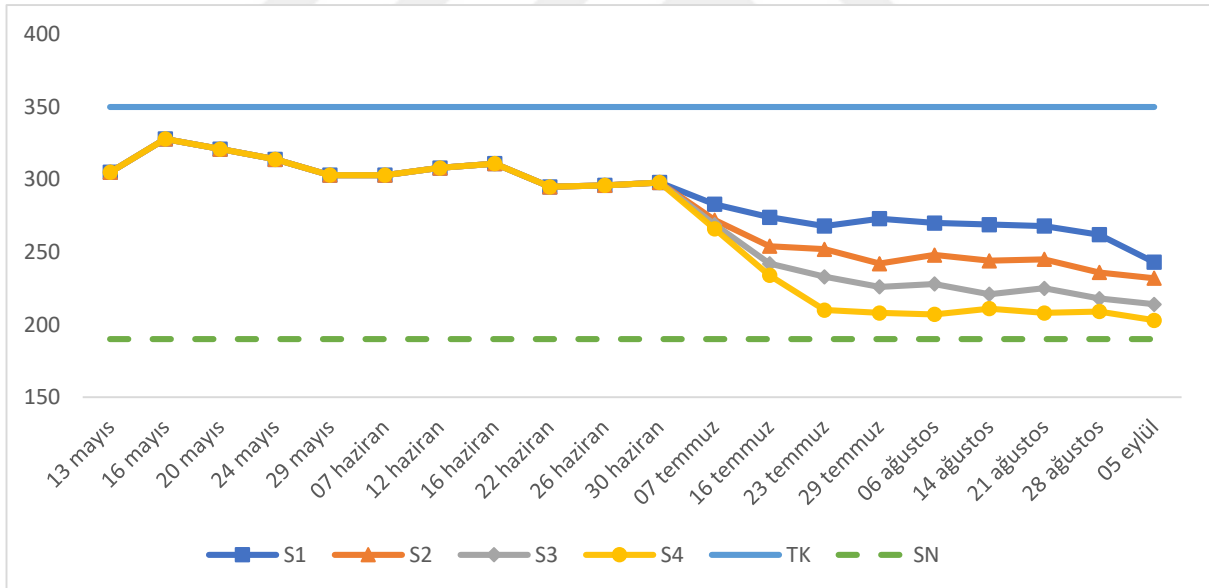
	Konular	Sulama seviyesi	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
2022	Temiz Su	%100	20	100	200	20	340
		%75	20	75	150	15	260
		%50	20	50	100	10	180
		%25	20	25	50	5	100
	Atık Su	%100	20	100	200	20	340
		%75	20	75	150	15	260
		%50	20	50	100	10	180
		%25	20	25	50	5	100
2023	Temiz Su	%100	-	80	200	50	330
		%75	-	60	150	37,5	247,5
		%50	-	40	100	25	165
		%25	-	20	50	12,5	82,5
	Atık Su	%100	-	80	200	50	330
		%75	-	60	150	37,5	247,5
		%50	-	40	100	25	165
		%25	-	20	50	12,5	82,5

Denemenin her iki yılında da planlı sulamalara aynı zamanda başlanmış ve sezon sonuna kadar sürdürülmüştür. İlk yıl toplam 9, ikinci yıl toplam 7 sulama yapılmıştır. Çalışmada ortalama sulama aralığı 7 gün olarak hesaplanmıştır. Toplamda 2022 ve 2023 yıllarında aspir bitkisine sırasıyla S1 (%100) tam sulama uygulamasında 340 mm ve 330 mm sulama suyu uygulanmıştır. En az sulama suyu S4 (%25) uygulamalarında 2022 yılında 100 mm ve 2023 yılında 82,5 mm olarak uygulanmıştır.

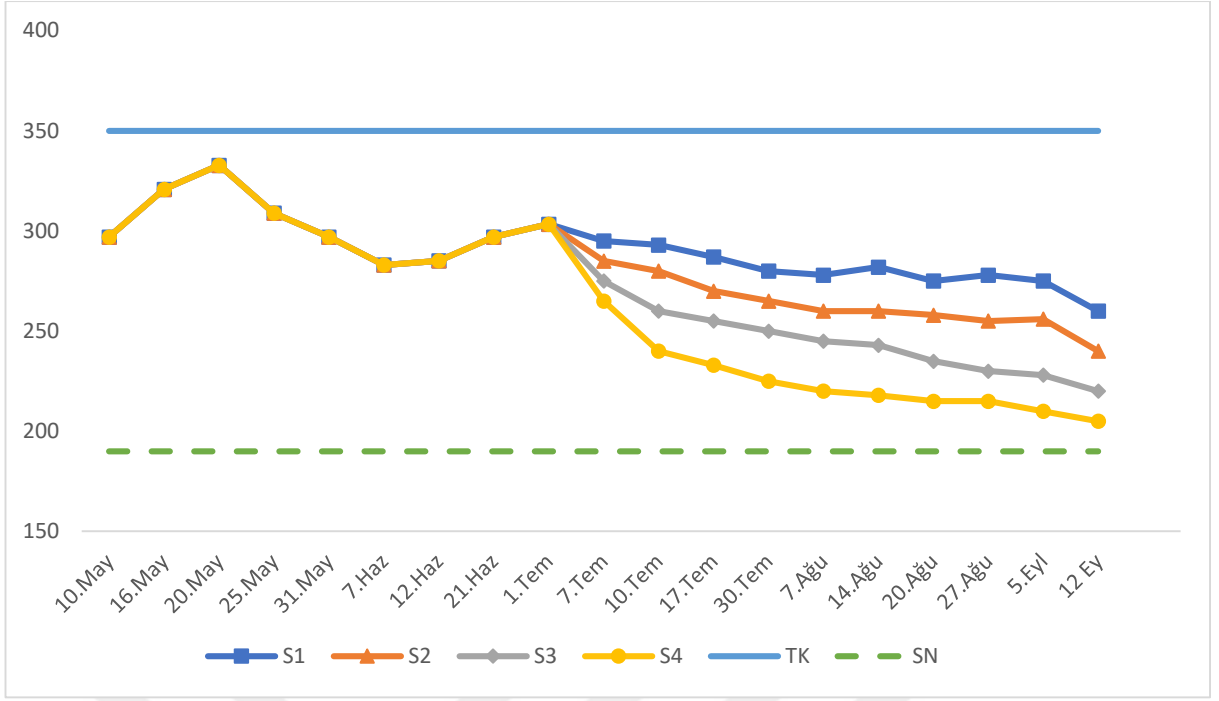
Toprak Nem İçeriğindeki Değışimler

Farklı seviyelerde (%100, 75, 50, 25 ve 0) sulama ve bakteri uygulamalarının (R0, R1, R2 ve R3) toprakta sulama öncesi nem değeri Şekil 30-47’de verilmiştir. Toprak nemi içeriğindeki mevsimlik değışim incelendiğinde sulama öncesi toprak nemlerinin tarla kapasitesi ile devamlı solma noktası arasında kaldığı, su kısıtı uygulamaları artıkça solma noktasına daha fazla yaklaştığı görölmektedir. Bakteri uygulamalarında hem arıtılmış atık su hem de temiz su uygulamalarının 2022 ve 2023 yıllarında toprak nem değışimlerinin benzer olduğı izlenmiştir. Her iki deneme yılında da toprak nem içerikleri vejetasyon periyodu boyunca bütün uygulamalarda yaklaşık olarak benzer değeri sergilemiştir.

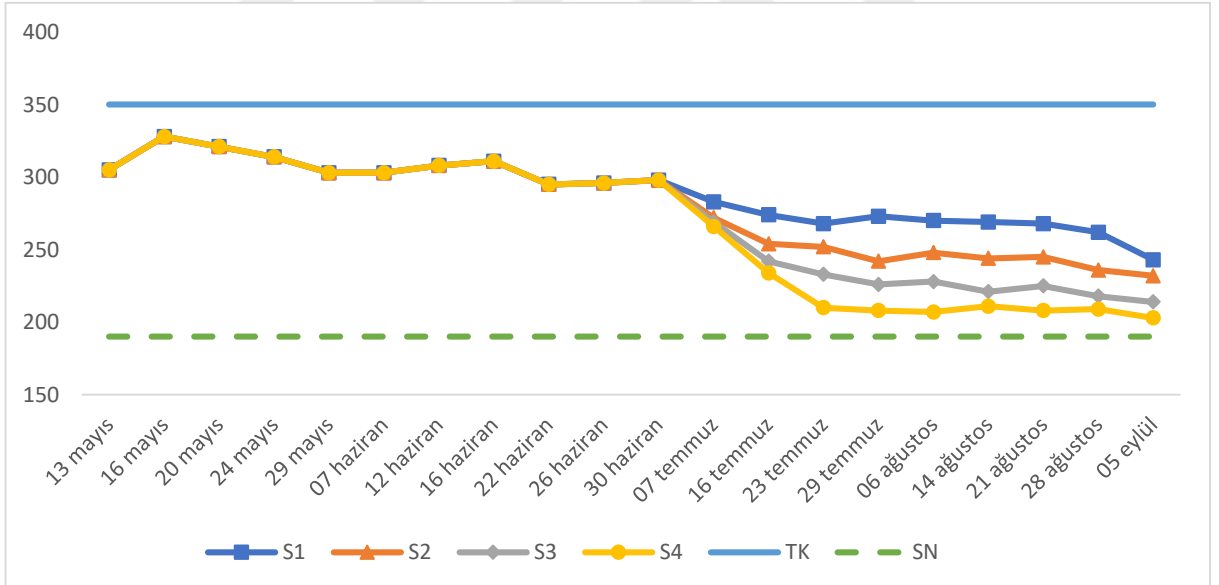
Sulamalar öncesi toprak nem değışim grafikleri incelendiğinde hem temiz su hem de arıtılmış atık su uygulamalarında sezon boyunca toprak neminin devamlı solma noktasına kadar inmediğı belirlenmiştir. Sulama uygulanmayan konunun mevsimlik nem içeriğı değeri incelendiğinde 2022 ve 2023 yılı yağışlarının fazla olmaması sebebiyle devamlı solma noktasının altına inmiştir. Tüm bakteri uygulama konularında toprak nem değışim içeriğı değeri benzer olduğı belirlenmiştir.



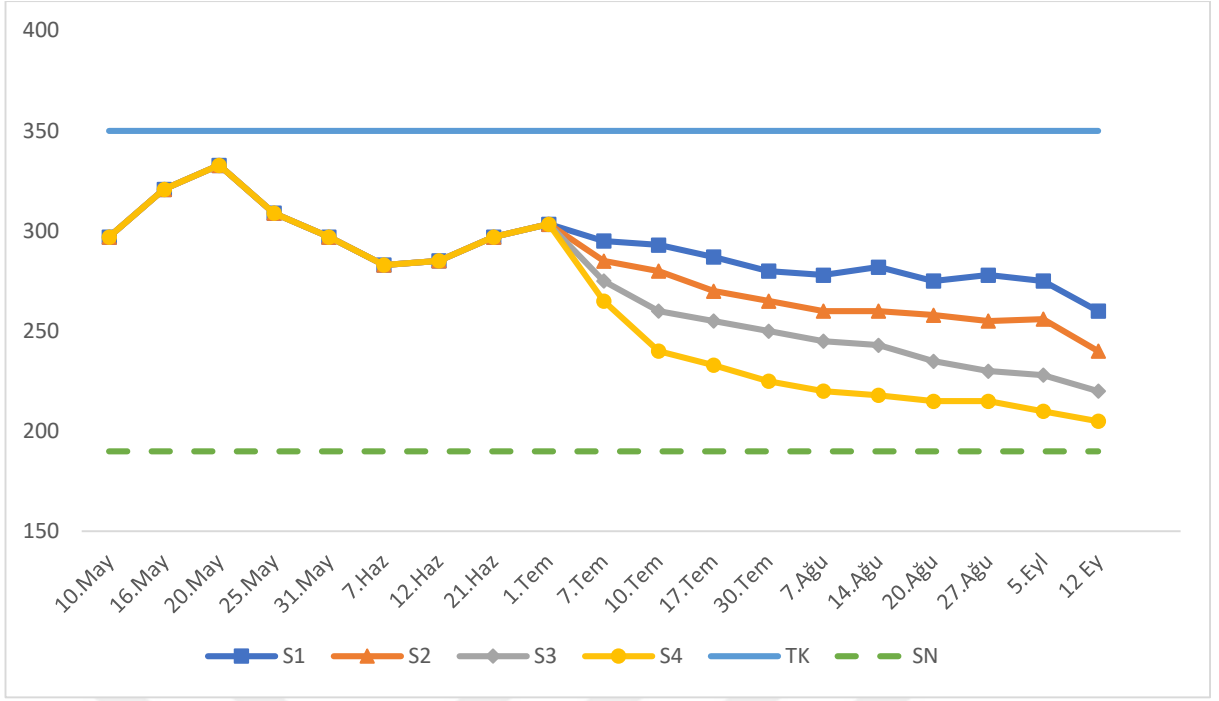
Şekil 30. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değışimleri



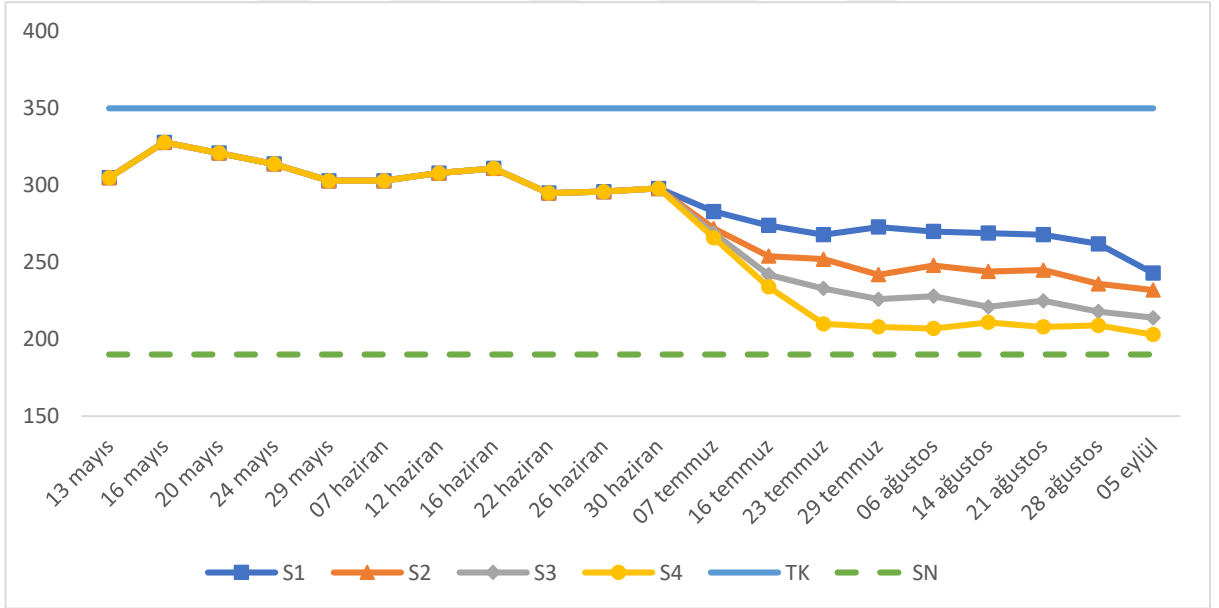
Şekil 31. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



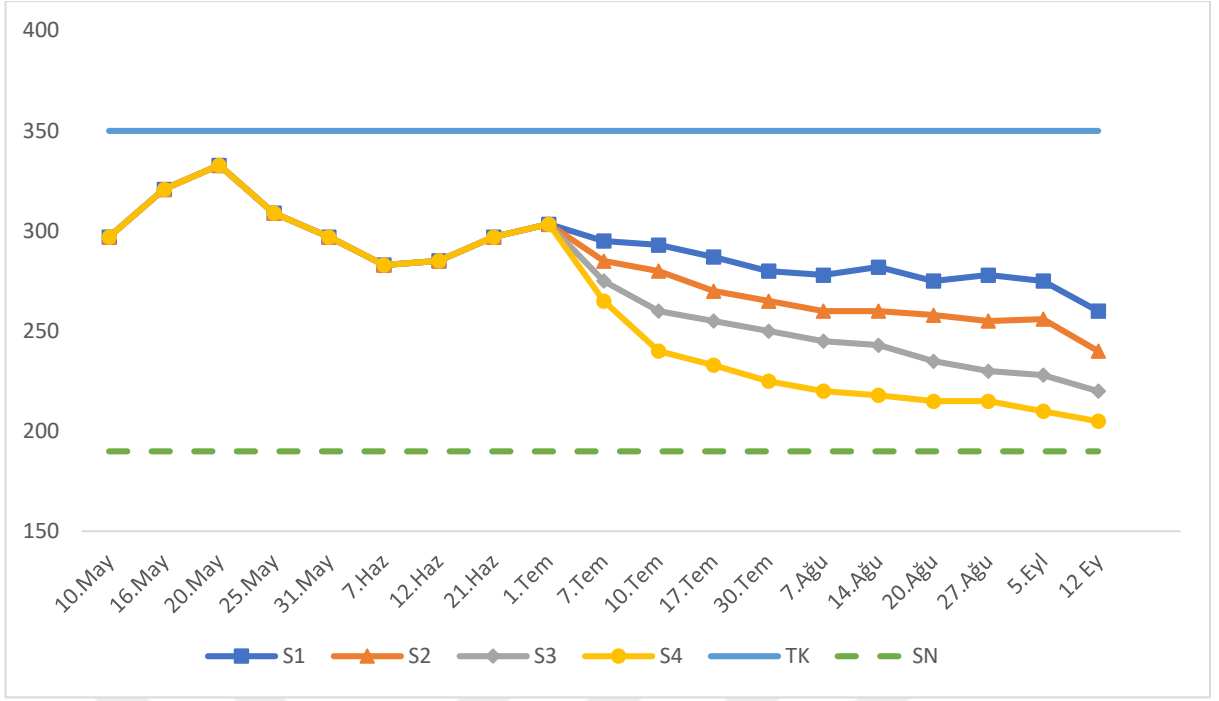
Şekil 32. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



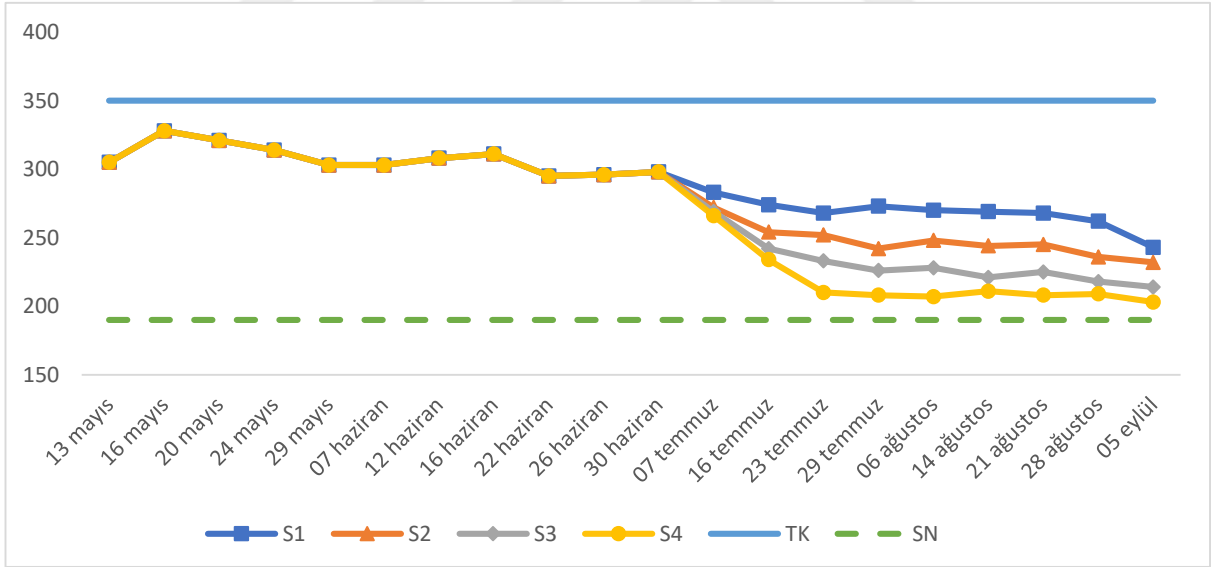
Şekil 33. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



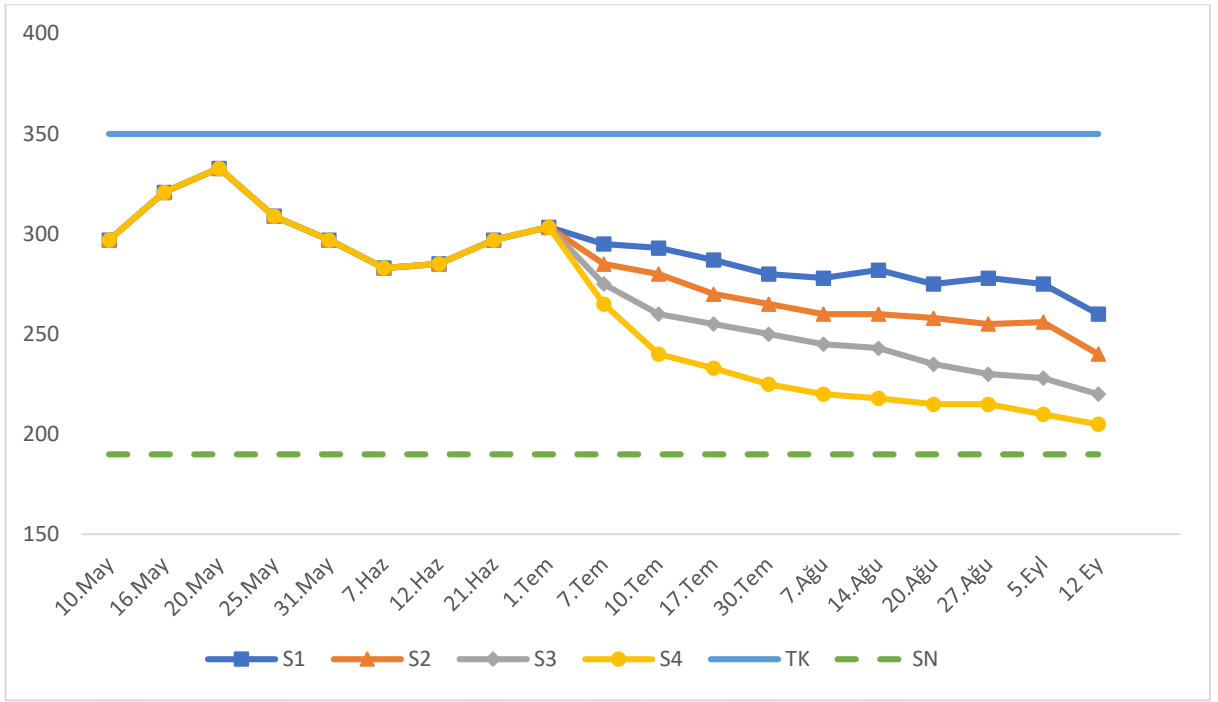
Şekil 34. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



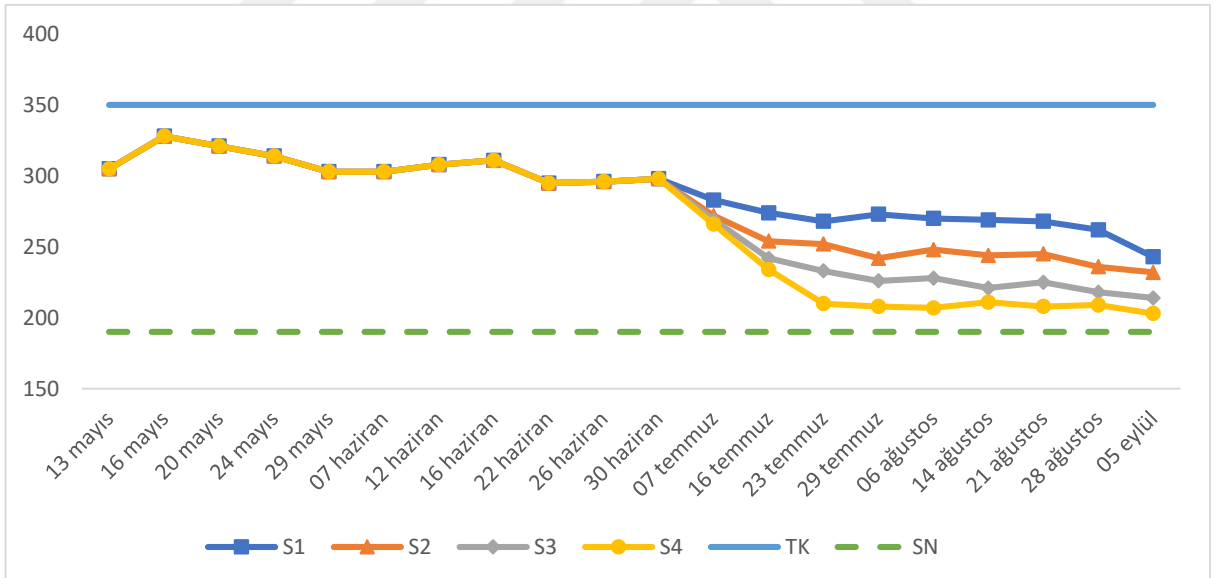
Şekil 35. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



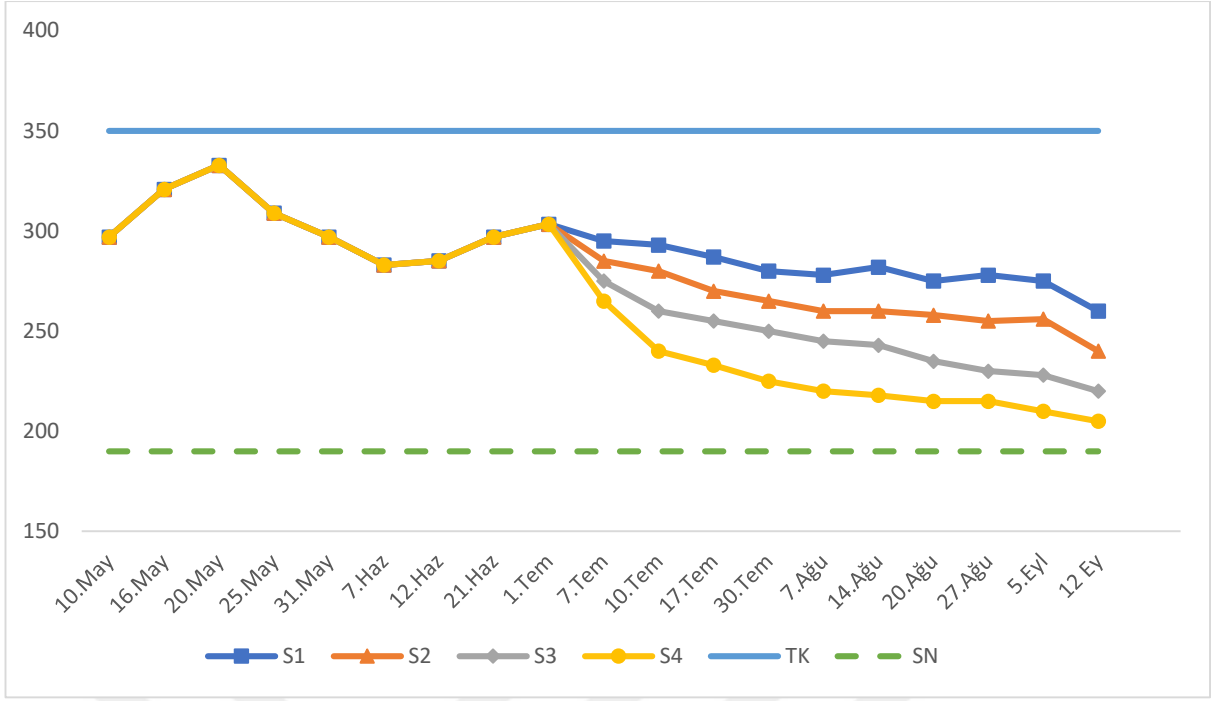
Şekil 36. 2022 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



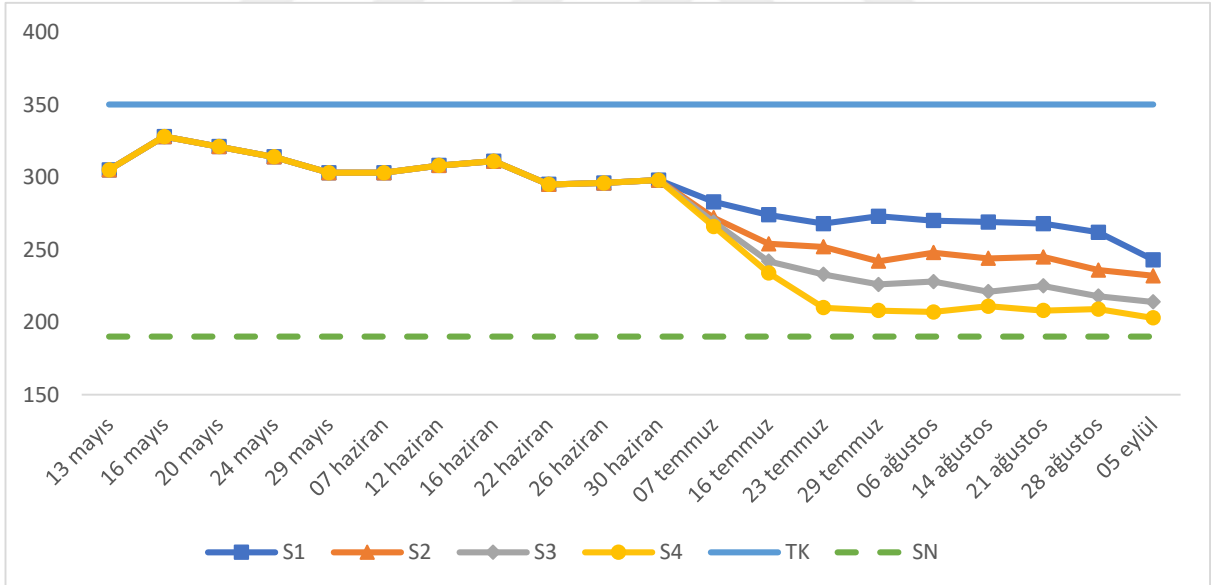
Şekil 37. 2023 yılı yetiştirme dönemi temiz su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



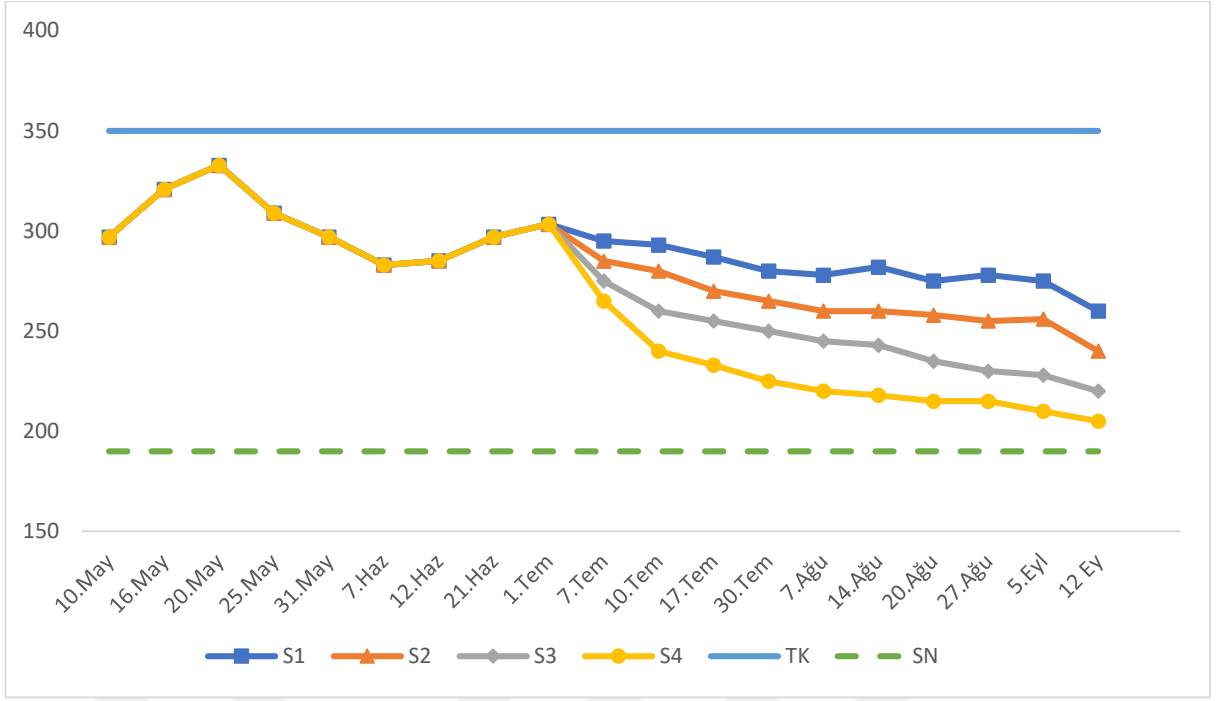
Şekil 38. 2022 yılı yetiştirme dönemi arıtılmış atık su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



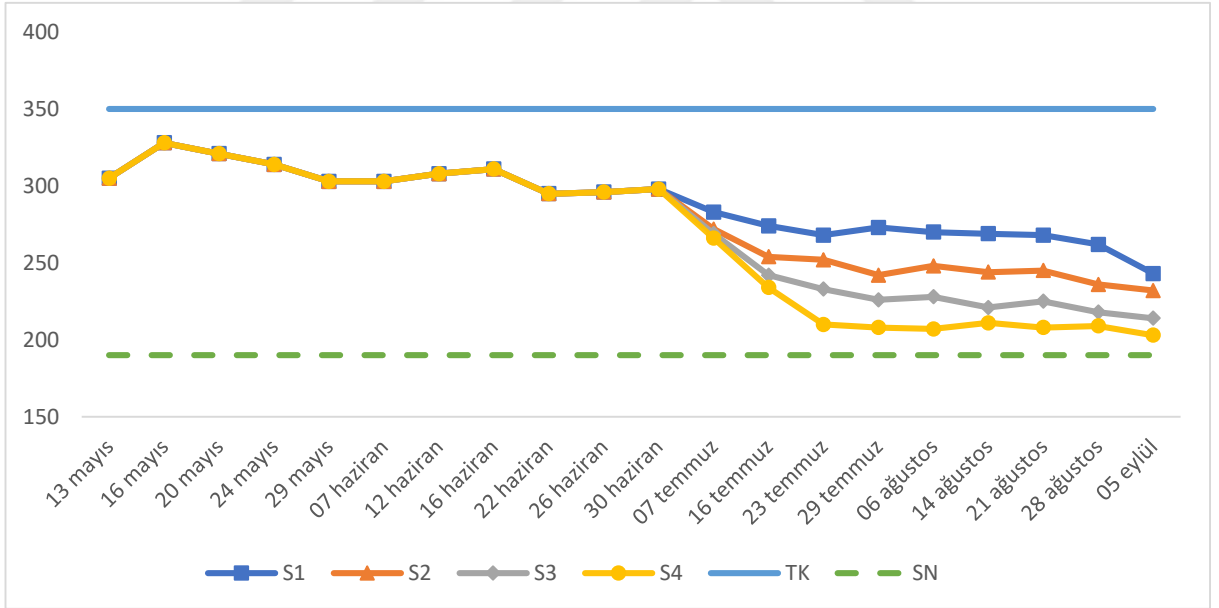
Şekil 39. 2022 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R0 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



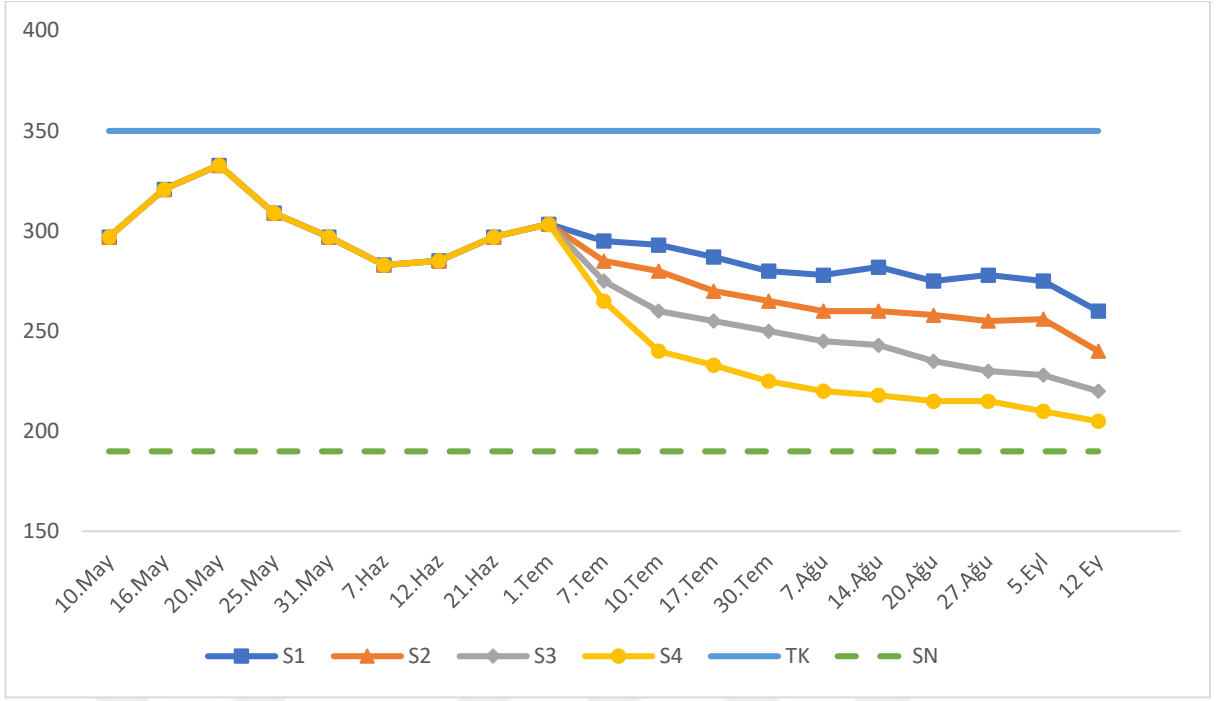
Şekil 40. 2022 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



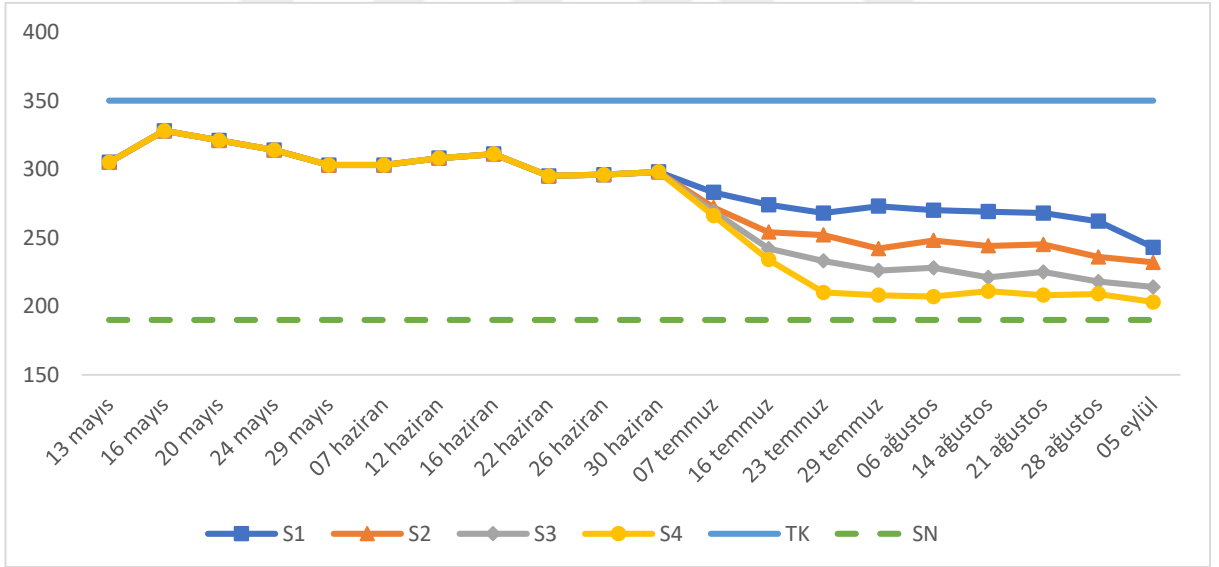
Şekil 41. 2023 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R1 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



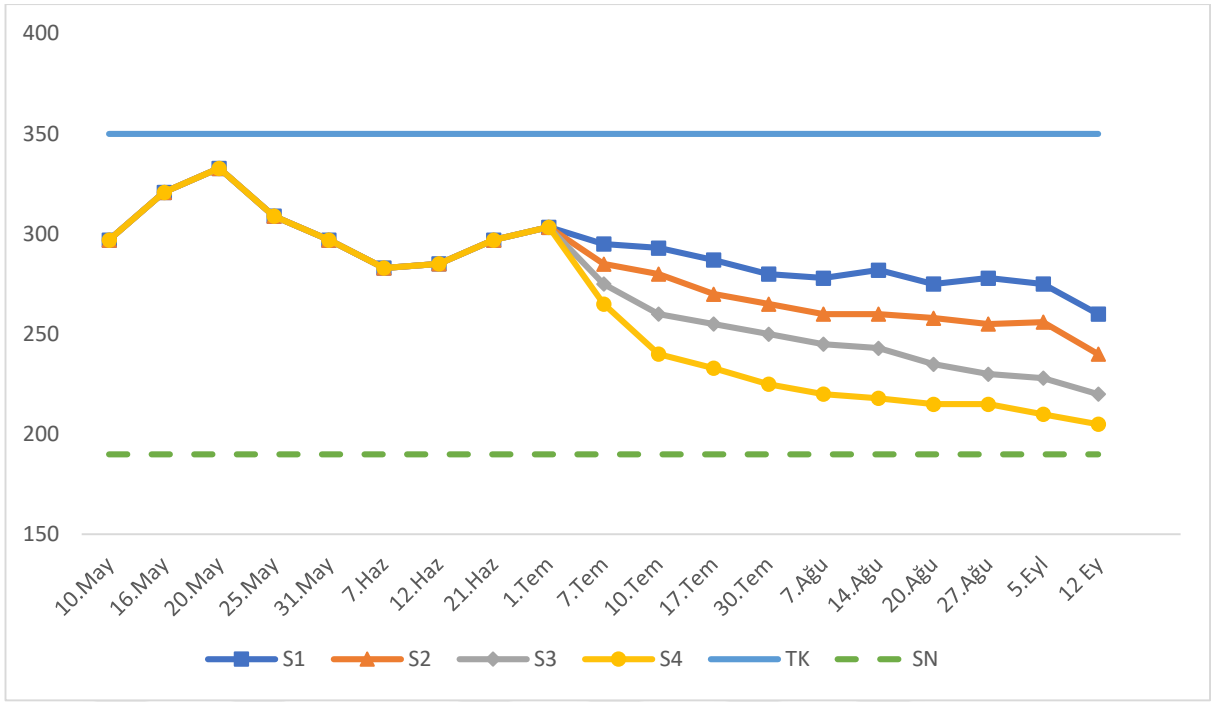
Şekil 42. 2022 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



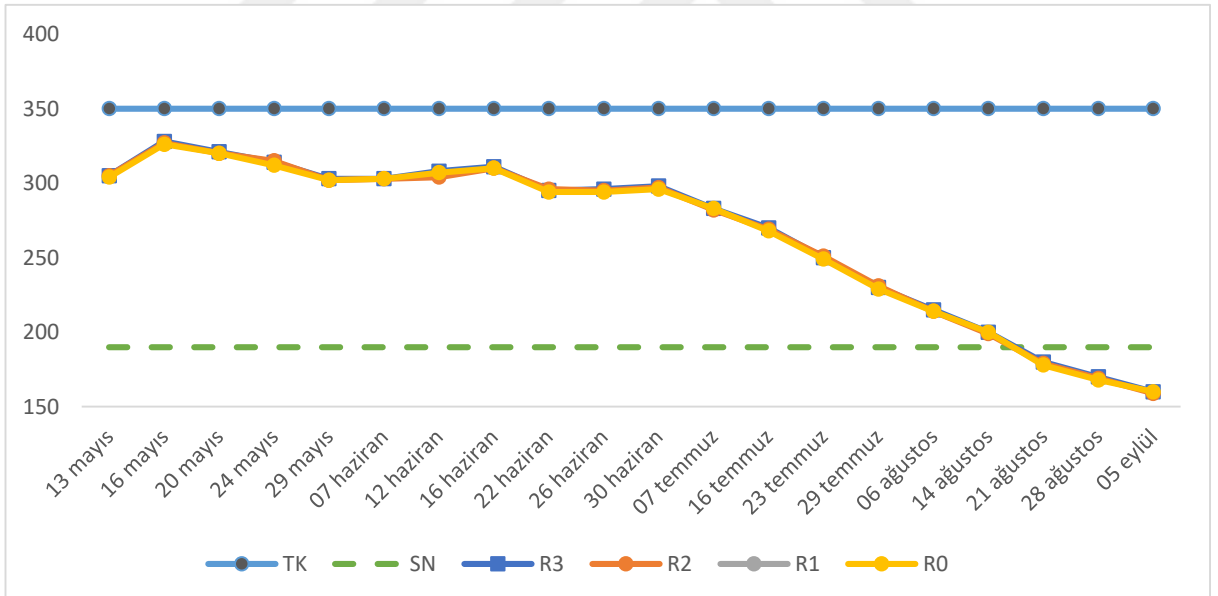
Şekil 43. 2023 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R2 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



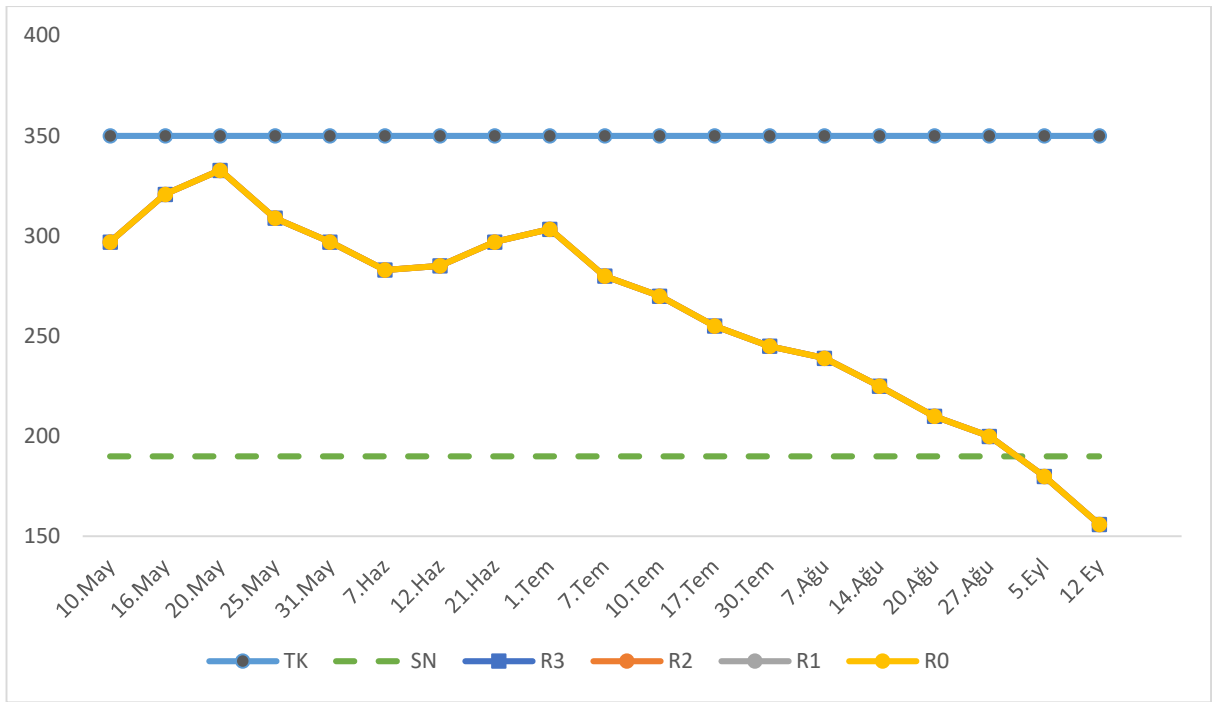
Şekil 44. 2022 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



Şekil 45. 2022 yılı yetiştirme dönemi artırılmış atık su ve R3 bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



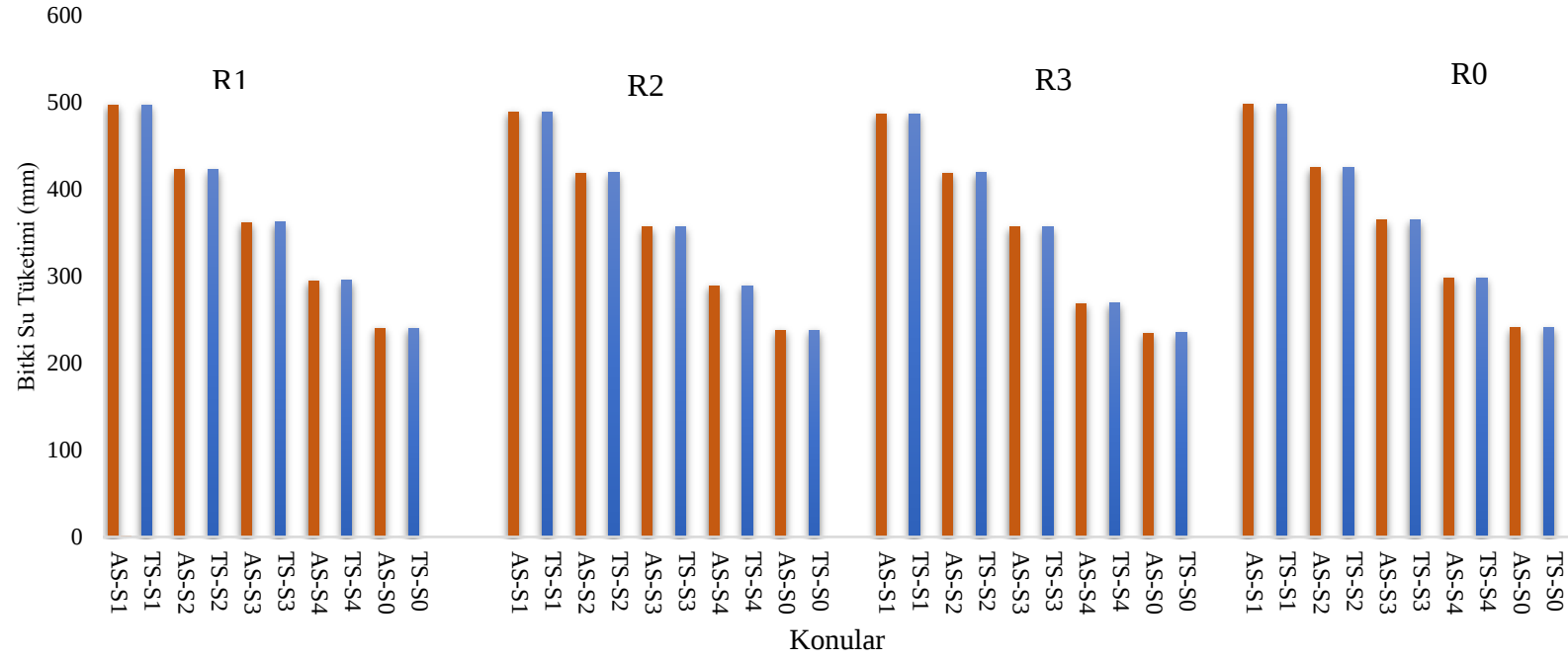
Şekil 46. 2022 yılı yetiştirme dönemi sulama uygulanmayan (yağışa dayalı) ve tüm bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri



Şekil 47. 2023 yılı yetiştirme dönemi sulama uygulanmayan (yağışa dayalı) ve tüm bakteri uygulamalarında sulama öncesi toprak nem değişimleri

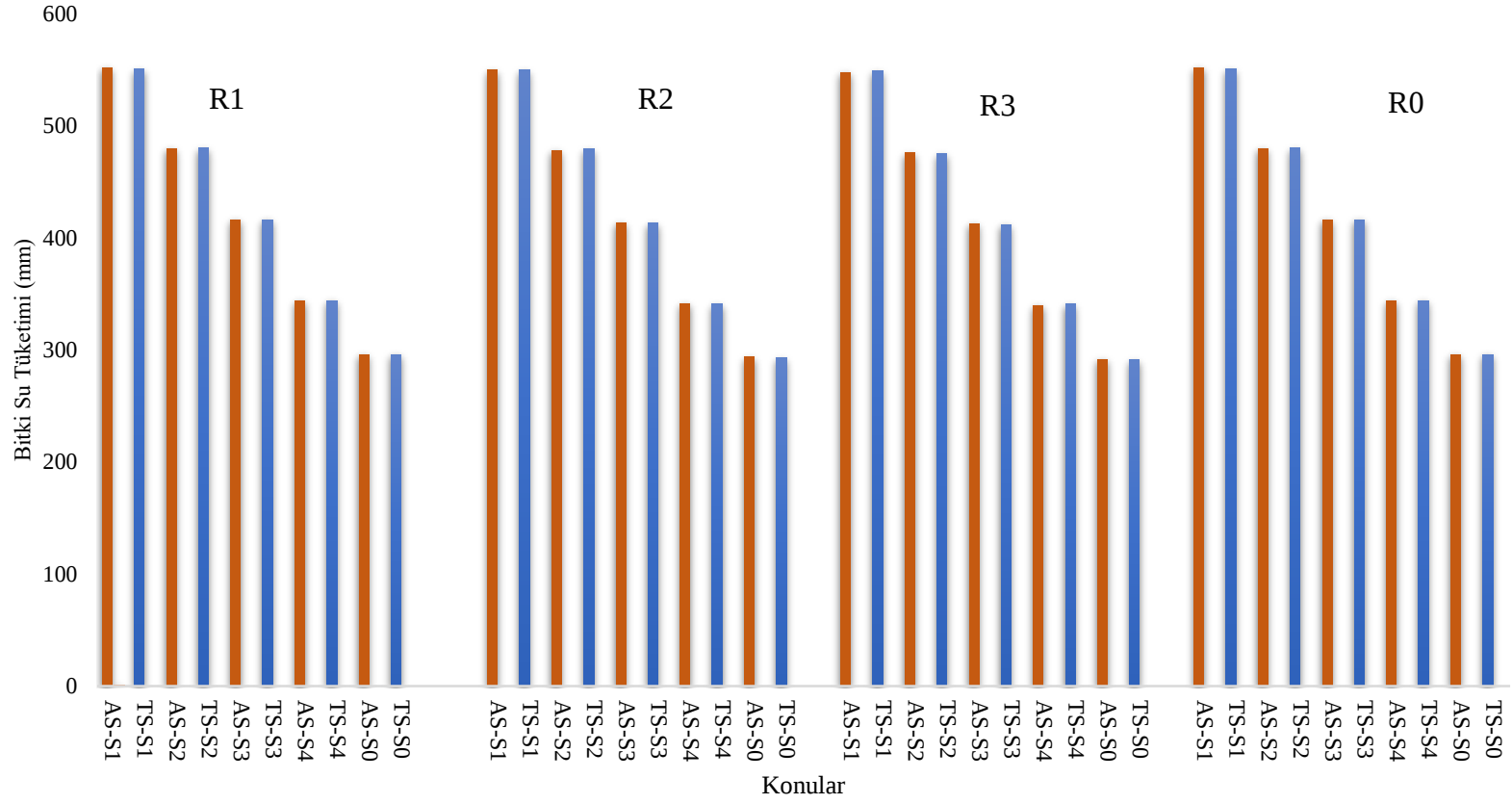
Bitki Su Tüketim Değerleri (Evapotranspirasyon)

Farklı sulama (%100, 75, 50, 25 ve 0) ve bakteri (0,1,2 ve 3 kez uygulama) konuları için, temiz su ve arıtılmış atık su ile sulama uygulamalarında su bütçesi eşitliği ile hesaplanmış olan mevsimlik evapotranspirasyon değerleri Şekil 48 ve 49’da verilmiştir. İki deneme yılında da bakteri ve sulama uygulamalarının bitki su tüketimi değerlerinin değişimi benzerlik göstermektedir. Tam sulama konusunda, vejetasyon dönemi başı ve sonu toprak nem farkının yakın ve sulama suyu miktarlarının eşit olması nedeniyle bitki su tüketim değerleri arıtılmış atık su ve temiz su için birbirine yakın değerler bulunmuştur.



AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; R0: bakteri uygulaması; R1: 1 doz bakteri; R2: 2 doz bakteri; R3: 3 doz bakteri; S0: yağışa dayalı; S1: %100 sulama; S2: %75 sulama; S3: %50 sulama; S4: %25 sulama.

Şekil 48. 2022 yılı sezonluk bitki su tüketim değerleri



AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; R0: bakteri uygulaması; R1: 1 doz bakteri; R2: 2 doz bakteri; R3: 3 doz bakteri; S0: yağışa dayalı; S1: %100 sulama; S2: %75 sulama; S3: %50 sulama; S4: %25 sulama.

Şekil 49. 2023 yılı sezonluk bitki su tüketim değerleri

Şekil 48 ve 49 incelendiğinde 2022 yılı bitki su tüketim değerleri R0, R1, R2 ve R3 konularına ait bitki su tüketiminin maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 241-498 mm, 240-497 mm, 238-489 ve 235-487 mm arasında değişmiştir. Bu değerler 2023 yılı için ise sırasıyla 296-552 mm, 296-552 mm, 293-553 mm ve 291-548 mm olarak belirlenmiştir. 2022 yılı bitki su tüketim değerleri 2023 yılına göre S0, S1, S2, S3 ve S4 konuları için %23, %11, %13, %15 ve %16 artış göstermiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının bitki su tüketim değerleri birbirine benzer bulunmuştur. Bakteri uygulamalarından R3 konusu bitki su tüketimi değerlerinde ki en fazla azalışı göstermiştir. S1 konusu dikkate alındığında temiz su ve arıtılmış atık su ortalamaları bazında R3 konusu R0, R1 ve R2 konularından sırasıyla %2,2, %2 ve %0,4 daha düşük olarak belirlenmiştir. S2 konusu incelendiğinde R3 konusu R0, R1 ve R2 konularından sırasıyla %1,41, %1 ve %0,9 daha düşük olarak belirlenmiştir. S3 sulaması için R3 konusu R0, R1 ve R2 konuları sırasıyla %2,3, %1,38 ve %0,62 daha düşük olarak belirlenmiştir. S4 sulama uygulaması dikkate alındığında temiz su ve arıtılmış atık su ortalamaları bazında R3 konusu R0, R1 ve R2 konularından sırasıyla %9,73, %8,8 ve %6,9 daha düşük olarak belirlenmiştir. Singh (2016) tarafından 2013 ve 2014 yıllarında aspir bitkisine dört farklı sulama uygulaması (tam sulama-FI, vejetatif aşamadaki stres-VS, çiçeklenme aşamasındaki stres-RS ve yağışa dayalı-DL) yapılmıştır. Araştırma bulguları dikkate alındığında evapotranspirasyon değerleri her iki yılda da sulama uygulamalarından önemli ölçüde etkilendiği bildirilmiştir. Araştırmada FI uygulaması, her iki yılda da diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek ET değeri kaydetmiş olup, en düşük ET ise DL uygulamasında gözlenmiştir. FI, RS, VS ve DL uygulamalarının 2013 ET değerleri sırasıyla 535, 418, 414 ve 280 mm iken 2014 yılı ET değerleri ise sırasıyla 467, 357, 350 ve 239 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler incelendiğinde En yüksek evapotranspirasyon (ET) değerlerinin FI ve en düşük değerin ise DL uygulamalarında hesaplandığı belirlenmiştir. Çalışmada hesaplanan evapotranspirasyon değerleri, yürütülen bu çalışmanın ET değerleri ile benzer olduğu belirlenmiştir.

Istanbulluoglu *et al.* (2009) tarafından yapılan bir araştırmada yazlık ve kışlık aspirin (*Carthamus tinctorius* L.) vejetatif, çiçeklenme ve tohum oluşumu evrelerinde su stresi uygulanmıştır. Araştırmada en düşük mevsimsel ET değerlerinin, kış ekimi için 364 mm ve yaz ekimi için 232 mm (kış ekimine göre %56,9 daha az) ile yağışa dayalı sulama konusunda kaydedilmiştir. Bunları vejetatif dönem, çiçeklenme dönemi ve tohum oluşum dönemleri takip etmiştir. Beklendiği gibi, en yüksek mevsimsel ET değerleri tüm sulama evrelerinin tam sulama uygulamasında, sırasıyla kış ve yaz ekimi için 728 ve 673 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ET değerleri kış sezonu için 364-728 mm ve yaz için ise 232- 673 mm arasında değişmiştir. Benzer çalışmalarda ET değerleri farklı iklim, toprak ve ekim zamanı koşullarında ve farklı

çeşitlerde 200 ile 1000 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (Kar *et al.* 2007; Lovelli *et al.* 2007; Istanbuluoglu 2009).

Klorofil İçeriği (SPAD) ve Stoma İletkenliği

Klorofil, fotosentez sürecinin temel bileşenlerinden biri olan kloroplastlarda bulunur ve yapraklardaki klorofil miktarı ile fotosentez hızı arasında olumlu bir ilişki vardır. Yapraklardaki klorofil içeriğini belirlemek için yaygın olarak klorofil metre (SPAD) cihazı kullanılmaktadır (Dordas and Sioulas 2008; Manvelian *et al.* 2021). Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama SPAD değerleri Tablo 15’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin SPAD değerine etkisi ise Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 15. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Klorofil İçeriği (SPAD) Değerlerine Etkisi

	Atık Su	Sulama Seviyesi	Klorofil İçeriği (SPAD) Ort±SH				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	
2022	Temiz Su	S0	46,36±0,21 e	45,96±0,48 e	45,25±0,42 e	45,16±0,52 e	45,68
		S1	76,33±0,41 a	76,21±0,52 a	76,12±0,16 a	76,02±0,44 a	76,17
		S2	69,20±0,43 b	69,40±0,25 b	69,36±0,15 b	69,08±0,26 b	69,26
		S3	60,16±0,15 c	60,33±0,36 c	60,05±0,43 c	60,38±0,28 c	60,23
		S4	55,20±0,10 d	55,13±0,41 d	55,80±0,25 d	55,25±0,12 d	55,35
		Ort.	61,47	61,40	61,31	61,18	
	Atık Su	S0	46,36±0,21 e	45,96±0,48 e	45,25±0,42 e	45,16±0,52 e	45,68
		S1	72,20±0,15 a	72,36±0,43 a	72,11±0,31 a	72,05±0,40 a	70,17
		S2	62,05±0,38 b	62,85±0,25 b	62,60±0,59 b	62,46±0,23 b	62,49
		S3	56,22±0,26 c	55,51±0,40 c	55,01±0,52 c	56,06±0,11 c	55,18
		S4	50,02±0,18 d	49,96±0,29 d	50,08±0,43 d	50,14±0,22 d	50,05
		Ort.	57,37	57,32	57,02	57,17	
2023	Temiz Su	S0	45,10±0,28 e	45,62±0,41 e	46,13±0,11 e	45,65±0,36 e	45,63
		S1	75,38±0,35 a	75,23±0,62 a	75,36±0,25 a	75,45±0,15 a	75,36
		S2	69,53±0,52 b	69,42±0,29 b	69,75±0,40 b	69,41±0,12 b	69,53
		S3	60,58±0,21 c	60,62±0,45 c	60,56±0,22 c	60,61±0,21 c	60,59
		S4	55,25±0,18 d	55,36±0,33 d	55,43±0,35 d	55,22±0,36 d	55,32
		Ort.	61,17	61,25	61,45	61,27	
	Atık Su	S0	45,10±0,28 e	45,62±0,41 e	46,13±0,11 e	45,65±0,36 e	45,63
		S1	70,36±0,53 a	70,41±0,25 a	70,39±0,36 a	70,33±0,28 a	70,37
		S2	61,15±0,23 b	61,25±0,26 b	61,11±0,11 b	61,20±0,33 b	61,18
		S3	56,50±0,39 c	56,38±0,34 c	56,42±0,54 c	56,49±0,53 c	56,45
		S4	50,05±0,35 d	50,12±0,29 d	50,08±0,53 d	50,06±0,35 d	50,08
		Ort.	56,63	56,76	56,83	56,75	
Ortalama	Temiz Su	S0	45,73±0,89 e	45,79±0,24 e	45,69±0,62 e	45,41±0,35 e	45,65
		S1	75,86±0,67 a	75,72±0,69 a	75,74±0,54 a	75,74±0,41 a	75,76
		S2	69,37±0,23 b	69,41±0,10 b	69,56±0,28 b	69,25±0,23 b	69,39
		S3	60,37±0,30 c	60,48±0,21 c	60,31±0,36 c	60,50±0,16 c	60,41
		S4	55,23±0,10 d	55,25±0,16 d	55,62±0,26 d	55,24±0,10 d	55,33
		Ort.	61,31	61,33	61,38	61,22	
	Atık Su	S0	45,73±0,89 e	45,79±0,24 e	45,69±0,62 e	45,41±0,35 e	45,65
		S1	75,86±0,67 a	75,72±0,69 a	75,74±0,54 a	75,74±0,41 a	75,76
		S2	69,37±0,23 b	69,41±0,10 b	69,56±0,28 b	69,25±0,23 b	69,39
		S3	60,37±0,30 c	60,48±0,21 c	60,31±0,36 c	60,50±0,16 c	60,41
		S4	55,23±0,10 d	55,25±0,16 d	55,62±0,26 d	55,24±0,10 d	55,33
		Ort.	61,31	61,33	61,38	61,22	

Tablo 15. (devamı)

	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Klorofil İçeriği (SPAD) Ort±SH				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
		S0	45,73±0,89 e	45,79±0,24 e	45,69±0,62 e	45,41±0,35 e	45,65
		S1	71,28±0,85 a	71,39±0,81 a	71,25±0,85 a	71,19±0,86 a	71,28
		S2	61,60±0,64 b	62,05±0,82 b	61,86±0,87 b	61,83±0,89 b	61,83
		S3	56,36±0,20 c	55,95±0,63 c	55,72±0,86 c	56,28±0,30 c	56,07
		S4	50,04±0,10 d	50,04±0,11 d	50,08±0,83 d	50,10±0,10 d	50,06
		Ort.	57,00	57,04	56,92	56,96	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 16. Arıtılmış Atık Su Ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin SPAD Değerlerine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	76,33±0,41*	76,21±0,52*	76,12±0,16*	76,02±0,44*
		Temiz Su	72,20±0,15	72,36±0,43	72,11±0,31	72,05±0,40
	S2	Atık Su	69,20±0,43*	69,40±0,25*	69,36±0,15*	69,08±0,26*
		Temiz Su	62,05±0,38	62,85±0,25	62,60±0,59	62,46±0,23
	S3	Atık Su	60,16±0,15*	60,33±0,36*	60,05±0,43*	60,38±0,28*
		Temiz Su	56,22±0,26	55,51±0,40	55,01±0,52	56,06±0,11
	S4	Atık Su	55,20±0,10*	55,13±0,41*	55,80±0,25*	55,25±0,12*
		Temiz Su	50,02±0,18	49,96±0,29	50,08±0,43	50,14±0,22
2023	S1	Atık Su	75,38±0,35*	75,23±0,62*	75,36±0,25*	75,45±0,15*
		Temiz Su	70,36±0,53	70,41±0,25	70,39±0,36	70,33±0,28
	S2	Atık Su	69,53±0,52*	69,42±0,29*	69,75±0,40*	69,41±0,12*
		Temiz Su	61,15±0,23	61,25±0,26	61,11±0,11	61,20±0,33
	S3	Atık Su	60,58±0,21*	60,62±0,45*	60,56±0,22*	60,61±0,21*
		Temiz Su	56,50±0,39	56,38±0,34	56,42±0,54	56,49±0,53
	S4	Atık Su	55,25±0,18*	55,36±0,33*	55,43±0,35*	55,22±0,36*
		Temiz Su	50,05±0,35	50,12±0,29	50,08±0,53	50,06±0,35
Ortalama	S1	Atık Su	75,86±0,67*	75,72±0,69*	75,74±0,54*	75,74±0,41*
		Temiz Su	71,28±0,85	71,39±0,81	71,25±0,85	71,19±0,86
	S2	Atık Su	69,37±0,23*	69,41±0,10*	69,56±0,28*	69,25±0,23*
		Temiz Su	61,60±0,64	62,05±0,82	61,86±0,87	61,83±0,89
	S3	Atık Su	60,37±0,30*	60,48±0,21*	60,31±0,36*	60,50±0,16*
		Temiz Su	56,36±0,20	55,95±0,63	55,72±0,86	56,28±0,30
	S4	Atık Su	55,23±0,10*	55,25±0,16*	55,62±0,26*	55,24±0,10*
		Temiz Su	50,04±0,10	50,04±0,11	50,08±0,83	50,10±0,10

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 15'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri SPAD değerleri üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuşken, bakteri uygulama sayısının SPAD üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Deneme de ilk yıl SPAD değeri 45,16 ile 76,33, ikinci yıl ise 45,10-75,45 arasında değişmiştir. Çalışmada en yüksek SPAD değeri her iki yılda arıtılmış atık su uygulamasının S1 konularında, en düşük ise sulama uygulanmayan S0 konusunda belirlenmiştir. Deneme de 2022 ve 2023 yılında sulama suyu miktarı artmasıyla SPAD değerlerinin arttığı saptanmıştır. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama

seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmiş olup, bakteri uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir.

Tablo 16 irdelendiğinde her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının SPAD değerleri üzerine etkileri istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının temiz suya göre daha yüksek SPAD değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum arıtılmış atık su koşullarının tam sulama konusunda daha yüksek SPAD değerleri, arıtılmış atık suyun klorofil biyosentez hızını artırmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Abdel Latef and Sallam 2015; Yerli 2022). Genel olarak yapılan çalışmalarda arıtılmış atık su koşullarında yetiştirilen bitkilerde temiz suya kıyasla SPAD değerlerinin daha yüksek çıktığı bildirilmiştir (Petousi *et al.* 2015; Cakmakci and Sahin 2021b; Yerli 2022). Farklı araştırmacıların aspir bitkisi üzerine yürüttüğü çalışmalar incelendiğinde SPAD değerleri 35 ile 79 arasında değişmekte olup, bu değerler tarafımızca gerçekleştirilen çalışmaya ilişkin değerler ile benzerlik göstermektedir (Dordas and Sioulas 2008; Bonfim-Silva *et al.* 2015; Khaki-Moghadam and Rokhzadi 2015; Janmohammadi *et al.* 2016; Manvelian vd. 2021).

Rahmani *et al.* (2019) klorofil içeriğini kuraklık stresinin bir göstergesi olarak bildirmiştir. Birçok araştırmada su stresine bağlı olarak SPAD değerlerinin azaldığı belirtilmiştir (Shahrokhnia and Sepaskhah 2017; Manvelian *et al.* 2021; Durusoy 2022). Bonfim-Silva *et al.* (2021) tarafından, farklı sulama seviyeleri koşulları altında aspir bitkisi yetiştiriciliği üzerine gerçekleştirdiği çalışmada en yüksek SPAD değerlerinin %100 olan tam sulamada kaydedildiği bildirilmiştir. Benzer şekilde su stresi koşulları altında aspir bitkisi üzerine yürütülen bir çalışmada su stresi SPAD değerini %14,42 kadar düşürdüğü belirtilmiştir (Pashang *et al.* 2021). Su stresi ile birlikte SPAD değerlerinin azalmasının, klorofil pigmentlerinin azalması veya fotonsetetik pigmentlerin sentezinde yer alan enzimlerin aktivitesindeki bozukluklardan oluşabileceği düşünülmektedir (Rahmani *et al.* 2019; Manvelian *et al.* 2021).

Bitki stoma iletkenliği, bitkilerin su kaybını düzenleme yeteneği ve fotosentez verimliliği arasındaki dengeyi sağlamada kritik bir rol oynayan önemli bir fizyolojik parametre olarak görülmektedir (Nazar *et al.* 2020). Bilim insanları, bitkilerin çevresel streslere nasıl tepki verdiğini anlamak ve bitkilerin su verimliliğini değerlendirmek için stoma iletkenliği ölçmektedir (Moradi and Ehsanzadeh 2015). Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama stoma iletkenlik değerleri Tablo 17’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin stoma iletkenliği değerine etkisi ise Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 17. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Stoma İletkenliği Değerlerine Etkisi

	Atık Su	Sulama Seviyesi	Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)				Ort.	
			Bakteri Uygulamaları					
			R0	R1	R2	R3		
2022	Temiz Su	S0	40,51±0,44 e	41,20±0,41 e	40,80±0,36 e	40,94±0,21 e	40,86	
		S1	120,23±0,23 a	121,45±0,52 a	120,58±0,28 a	120,98±0,51 a	120,81	
		S2	93,45±0,56 b	94,01±0,35 b	93,65±0,45 b	93,89±0,27 b	93,75	
		S3	71,78±0,31 c	71,21±0,24 c	72,25±0,24 c	70,68±0,37 c	71,48	
		S4	44,86±0,26 d	45,55±0,53 d	43,26±0,39 d	44,69±0,41 d	44,59	
		Ort.	74,16	74,68	74,11	74,23		
	Atık Su	Sulama Seviyesi	Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)					
			Bakteri Uygulamaları					
			R0	R1	R2	R3	Ort.	
			S0	40,51±0,44 e	41,20±0,41 e	40,80±0,36 e	40,94±0,21 e	40,86
			S1	121,38±0,28 a	120,14±0,39 a	121,26±0,47 a	121,89±0,54 a	121,16
			S2	94,05±0,32 b	93,45±0,34 b	94,01±0,56 b	93,86±0,42 b	93,84
2023	Temiz Su	S2	94,05±0,32 b	93,45±0,34 b	94,01±0,56 b	93,86±0,42 b	93,84	
		S3	71,11±0,45 c	71,24±0,38 c	70,99±0,35 c	71,10±0,46 c	71,11	
		S4	43,74±0,36 d	44,32±0,42 d	44,15±0,63 d	43,69±0,44 d	43,97	
		Ort.	74,16	74,07	74,24	74,30		
		Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)						
		Atık Su	Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
	R0			R1	R2	R3	Ort.	
	S0			40,82±0,33 e	40,75±0,21 e	40,83±0,28 e	40,80±0,41 e	40,80
	S1			118,10±0,51 a	118,99±0,10 a	118,78±0,62 a	118,65±0,43 a	118,63
	S2			90,14±0,25 b	90,11±0,58 b	90,12±0,24 b	90,20±0,18 b	90,14
	S3			68,15±0,16 c	68,36±0,41 c	68,31±0,36 c	68,25±0,57 c	68,27
	Ortalama	Temiz Su	S4	43,45±0,33 d	43,36±0,59 d	43,44±0,12 d	43,29±0,35 d	43,39
Ort.			72,13	72,31	72,30	72,24		
Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)								
Atık Su			Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
				R0	R1	R2	R3	Ort.
				S0	40,82±0,33 e	40,75±0,21 e	40,83±0,28 e	40,80±0,41 e
		S1		118,36±0,42 a	118,21±0,40 a	118,14±0,47 a	118,23±0,39 a	118,24
		S2		90,12±0,31 b	90,62±0,25 b	90,55±0,39 b	90,49±0,35 b	90,45
		S3		68,13±0,69 c	68,21±0,12 c	68,25±0,28 c	68,12±0,44 c	68,18
		Temiz Su	S4	43,01±0,22 d	43,59±0,33 d	43,44±0,21 d	43,07±0,25 d	43,28
			Ort.	72,09	72,28	72,24	72,14	
			Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)					
	Atık Su		Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
				R0	R1	R2	R3	Ort.
				S0	40,67±0,22 e	40,98±0,32 e	40,82±0,10 e	40,87±0,10 e
		S1		119,17±1,51 a	120,22±1,74 a	119,68±1,27 a	119,82±1,65 a	119,72
		S2		91,80±2,34 b	92,06±2,76 b	91,89±2,50 b	92,05±2,50 b	91,95
		S3		69,97±2,57 c	69,79±2,02 c	70,28±2,73 c	69,47±2,79 c	69,87
		Temiz Su	S4	44,16±1,02 d	44,46±1,55 d	43,35±0,13 d	43,99±0,13 d	43,99
			Ort.	73,15	73,50	73,20	73,24	
			Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)					
Atık Su			Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
				R0	R1	R2	R3	Ort.
				S0	40,67±0,22 e	40,98±0,32 e	40,82±0,10 e	40,87±0,10 e
		S1		119,87±2,14 a	119,18±1,36 a	119,70±2,21 a	120,06±2,59 a	119,70
		S2		92,09±2,78 b	92,04±2,01 b	92,28±2,45 b	92,18±23,8 b	92,14
		S3		69,62±2,11 c	69,73±2,14 c	69,62±1,94 c	69,61±2,11 c	69,64
		Temiz Su	S4	43,38±0,52 d	43,96±0,52 d	43,80±0,50 d	43,38±0,44 d	43,63
			Ort.	73,12	73,17	73,24	73,22	
			Stoma iletkenliği Ort±SH (mmol m ² s ⁻¹)					

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama ± SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama ± SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 18. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Stoma İletkenliği Değerlerine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	120,23±0,23 ^{ns}	121,45±0,52 ^{ns}	120,58±0,28 ^{ns}	120,98±0,51 ^{ns}
		Temiz Su	121,38±0,28	120,14±0,39	121,26±0,47	121,89±0,54
	S2	Atık Su	93,45±0,56 ^{ns}	94,01±0,35 ^{ns}	93,65±0,45 ^{ns}	93,89±0,27 ^{ns}
		Temiz Su	94,05±0,32	93,45±0,34	94,01±0,56	93,86±0,42
	S3	Atık Su	71,78±0,31 ^{ns}	71,21±0,24 ^{ns}	72,25±0,24 ^{ns}	70,68±0,37 ^{ns}
		Temiz Su	71,11±0,45	71,24±0,38	70,99±0,35	71,10±0,46
	S4	Atık Su	44,86±0,26 ^{ns}	45,55±0,53 ^{ns}	43,26±0,39 ^{ns}	44,69±0,41 ^{ns}
		Temiz Su	43,74±0,36	44,32±0,42	44,15±0,63	43,69±0,44
2023	S1	Atık Su	118,10±0,51 ^{ns}	118,99±0,10 ^{ns}	118,78±0,62 ^{ns}	118,65±0,43 ^{ns}
		Temiz Su	118,36±0,42	118,21±0,40	118,14±0,47	118,23±0,39
	S2	Atık Su	90,14±0,25 ^{ns}	90,11±0,58 ^{ns}	90,12±0,24 ^{ns}	90,20±0,18 ^{ns}
		Temiz Su	90,12±0,31	90,62±0,25	90,55±0,39	90,49±0,35
	S3	Atık Su	68,15±0,16 ^{ns}	68,36±0,41 ^{ns}	68,31±0,36 ^{ns}	68,25±0,57 ^{ns}
		Temiz Su	68,13±0,69	68,21±0,12	68,25±0,28	68,12±0,44
	S4	Atık Su	43,45±0,33 ^{ns}	43,36±0,59 ^{ns}	43,44±0,12 ^{ns}	43,29±0,35 ^{ns}
		Temiz Su	43,01±0,22	43,59±0,33	43,44±0,21	43,07±0,25
Ortalama	S1	Atık Su	119,17±1,51 ^{ns}	120,22±1,74 ^{ns}	119,68±1,27 ^{ns}	119,82±1,65 ^{ns}
		Temiz Su	119,87±2,14	119,18±1,36	119,70±2,21	120,06±2,59
	S2	Atık Su	91,80±2,34 ^{ns}	92,06±2,76 ^{ns}	91,89±2,50 ^{ns}	92,05±2,50 ^{ns}
		Temiz Su	92,09±2,78	92,04±2,01	92,28±2,45	92,18±2,38
	S3	Atık Su	69,97±2,57 ^{ns}	69,79±2,02 ^{ns}	70,28±2,73 ^{ns}	69,47±2,79 ^{ns}
		Temiz Su	69,62±2,11	69,73±2,14	69,62±1,94	69,61±2,11
	S4	Atık Su	44,16±1,02 ^{ns}	44,46±1,55 ^{ns}	43,35±0,13 ^{ns}	43,99±0,13 ^{ns}
		Temiz Su	43,38±0,52	43,96±0,52	43,80±0,50	43,38±0,44

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 17'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri stoma iletkenlik değerleri üzerine etkisi p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuşken, bakteri uygulama sayısının stoma iletkenliği üzerine etkisi p<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Deneme de ilk yıl stoma iletkenlik değeri 40,51 ile 121,89 mmol m⁻² s⁻¹, ikinci yıl ise 40,75 ile 118,99 mmol m⁻² s⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek stoma iletkenlik değeri her iki yıl için tam sulama uygulamaları olan S1 konularında, en düşük ise sulama uygulanmayan S0 konularında belirlenmiştir. Denemede sulama suyu miktarı artmasıyla stoma iletkenlik değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama seviyeleri arasında istatistiksel olarak aralarında anlamlı bir fark belirlenmiş olup, bakteri uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir.

Tablo 18 irdelendiğinde her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının stoma iletkenlik değerleri üzerine etkileri arasında istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemli bulunmamıştır. Farklı araştırmacıların aspir bitkisi üzerine yürüttüğü çalışmalarda stoma iletkenlik değerleri 30 ile 120 mmol m⁻² s⁻¹ arasında değişmekte olup, bu değerler tarafımızca gerçekleştirilen çalışmaya ilişkin değerler ile benzerlik göstermektedir (Dordas and Sioulas 2008; Shahrokhnia and Sepaskhah 2017). Durusoy (2022) farklı sulama seviyeleri koşulları

altında aspir bitkisi yetiştiriciliği üzerine gerçekleştirdiği çalışmada en yüksek stoma iletkenlik değerlerini tam sulama koşullarında kaydettiğini belirtmiştir. Kazemeini *et al.* (2015) tarafından farklı sulama seviyelerinin aspir gelişimine etkileri üzerine yürütülen çalışmada kuraklık artıkça, stoma iletkenliğinin azaldığı bildirilmiştir. Lamaoui *et al.* (2018) ve Pirasteh-Anosheh *et al.* (2013) tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda su kısıtının stoma iletkenliğini düşürdüğü bildirilmiştir.

Su Kullanım Etkinliği (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (IWUE)

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama WUE ve IWUE değerleri sırasıyla Tablo 19 ve 21’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin WUE ve IWUE değerlerine etkisi ise Tablo 20 ve 22’de verilmiştir.

Tablo 19. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin WUE Değerlerine Etkisi

2022	Atık Su	Sulama Seviyesi	WUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
	Temiz Su	S0	0,43±0,02 bB	0,45±0,02 bB	0,47±0,02 bA	0,48±0,02 bA	0,46
		S1	0,34±0,03 eB	0,35±0,03 eB	0,36±0,03 eA	0,36±0,02 eA	0,35
		S2	0,38±0,01 dB	0,39±0,04 dB	0,40±0,04 dA	0,40±0,02 dA	0,40
		S3	0,41±0,01 cB	0,42±0,01 cB	0,43±0,01 cA	0,43±0,02 cA	0,42
		S4	0,48±0,04 aC	0,52±0,03 aB	0,52±0,03 aB	0,56±0,02 aA	0,52
		Ort.	0,41	0,42	0,43	0,44	
	Atık Su	S0	0,43±0,02 bB	0,45±0,02 bB	0,47±0,02 bA	0,48±0,02 bA	0,46
		S1	0,32±0,02 eB	0,33±0,01 eB	0,33±0,02 eA	0,34±0,01 eA	0,33
		S2	0,36±0,01 dB	0,36±0,03 dB	0,37±0,01 dA	0,37±0,03 dA	0,37
		S3	0,41±0,02 cB	0,41±0,04 cB	0,42±0,01 cA	0,42±0,02 cA	0,41
		S4	0,46±0,03 aC	0,46±0,01 aC	0,49±0,04 aB	0,53±0,01 aA	0,49
		Ort.	0,39	0,40	0,41	0,43	
2023	Atık Su	Sulama Seviyesi	WUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
	Temiz Su	S0	0,39±0,01 bC	0,41±0,01 aB	0,44±0,01 aA	0,44±0,02 aA	0,42
		S1	0,29±0,02 eB	0,29±0,04 dB	0,31±0,02 dA	0,31±0,03 dA	0,30
		S2	0,33±0,03 dB	0,33±0,01 cB	0,34±0,02 cA	0,34±0,01 cA	0,34
		S3	0,35±0,04 cB	0,35±0,02 bB	0,36±0,04 bA	0,36±0,02 bA	0,36
		S4	0,41±0,02 aB	0,41±0,04 aB	0,43±0,03 aA	0,43±0,04 aA	0,42
		Ort.	0,35	0,36	0,38	0,38	
	Atık Su	S0	0,39±0,01 aC	0,41±0,01 aB	0,44±0,01 aA	0,44±0,02 aA	0,42
		S1	0,27±0,03 dB	0,28±0,03dB	0,29±0,01 eA	0,29±0,03 dA	0,28
		S2	0,30±0,04 cB	0,31±0,02 cB	0,32±0,02 dA	0,32±0,04 cA	0,31
		S3	0,31±0,01 bB	0,32±0,03 bB	0,33±0,03 cA	0,33±0,02 bA	0,32
		S4	0,38±0,02 aC	0,40±0,02 aB	0,39±0,02 bB	0,42±0,01 aA	0,38
		Ort.	0,33	0,34	0,35	0,35	
Ortalama	Atık Su	Sulama Seviyesi	WUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
	S0	0,41±0,02 bC	0,43±0,02 bB	0,45±0,02 bA	0,46±0,02 eA	0,43	
	S1	0,31±0,03 eB	0,32±0,03 eB	0,33±0,03 eA	0,33±0,03 dA	0,32	
	S2	0,35±0,03 dB	0,36±0,03 dB	0,37±0,03 dA	0,37±0,03 cA	0,36	
	S3	0,38±0,03 cB	0,38±0,04 cB	0,39±0,04 cA	0,39±0,04 bA	0,38	
	S4	0,44±0,04 aC	0,46±0,06 aB	0,47±0,05 aB	0,49±0,07 aA	0,46	
	Ort.	0,38	0,39	0,40	0,41		

Tablo 19. (devamı)

	Temiz Su	Sulama Seviyesi	WUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	0,41±0,03 aC	0,43±0,03 aB	0,46±0,02 aA	0,46±0,03 aA	0,44
S1	0,30±0,04 dB	0,30±0,03 dB	0,31±0,03 dA	0,32±0,04 dA	0,31		
S2	0,33±0,04 cB	0,34±0,04 cB	0,35±0,04 cA	0,35±0,04 cA	0,34		
S3	0,36±0,07 bB	0,37±0,06 bB	0,38±0,06 bA	0,38±0,06 bA	0,37		
S4	0,41±0,07 aC	0,42±0,06 aC	0,44±0,07 aB	0,46±0,11 aA	0,43		
Ort.	0,36	0,37	0,39	0,39			

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 20. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında yetiştirilen aspir bitkisinin WUE etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0.34±0.03*	0.35±0.03*	0.36±0.03*	0.36±0.02*
		Temiz Su	0.32±0.02	0.32±0.01	0.33±0.02	0.34±0.01
	S2	Atık Su	0.38±0.01*	0.39±0.04*	0.40±0.04*	0.40±0.02*
		Temiz Su	0.36±0.01	0.36±0.03	0.37±0.01	0.37±0.03
	S3	Atık Su	0.41±0.01 ^{ns}	0.42±0.01 ^{ns}	0.43±0.01 ^{ns}	0.43±0.02 ^{ns}
		Temiz Su	0.41±0.02	0.41±0.04	0.42±0.01	0.42±0.02
	S4	Atık Su	0.48±0.04*	0.52±0.03*	0.52±0.03*	0.56±0.02*
		Temiz Su	0.46±0.03	0.46±0.01	0.49±0.04	0.53±0.01
2023	S1	Atık Su	0.29±0.02*	0.30±0.04*	0.31±0.02*	0.31±0.03*
		Temiz Su	0.27±0.03	0.28±0.03	0.29±0.01	0.29±0.03
	S2	Atık Su	0.33±0.03*	0.33±0.01*	0.34±0.02*	0.34±0.01*
		Temiz Su	0.30±0.04	0.31±0.02	0.32±0.02	0.32±0.04
	S3	Atık Su	0.35±0.04*	0.35±0.02*	0.36±0.04*	0.36±0.02*
		Temiz Su	0.31±0.01	0.32±0.03	0.33±0.03	0.33±0.02
	S4	Atık Su	0.40±0.02*	0.41±0.04*	0.43±0.03*	0.43±0.04*
		Temiz Su	0.38±0.02	0.40±0.02	0.39±0.02	0.42±0.01
Ortalama	S1	Atık Su	0.31±0.03*	0.32±0.03*	0.33±0.03*	0.33±0.03*
		Temiz Su	0.30±0.04	0.30±0.03	0.31±0.03	0.32±0.04
	S2	Atık Su	0.35±0.03*	0.36±0.03*	0.37±0.03*	0.37±0.03*
		Temiz Su	0.33±0.04	0.34±0.04	0.35±0.04	0.35±0.04
	S3	Atık Su	0.38±0.03*	0.38±0.04*	0.39±0.04*	0.39±0.04*
		Temiz Su	0.36±0.07	0.36±0.06	0.37±0.06	0.37±0.06
	S4	Atık Su	0.44±0.04*	0.46±0.06*	0.47±0.05*	0.49±0.07*
		Temiz Su	0.41±0.07	0.42±0.06	0.44±0.07	0.46±0.11

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 21. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin IWUE Değerlerine Etkisi

2022	Atık Su	Sulama Seviyesi	IWUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
	S1	0,50±0,01 dB	0,51±0,03 dA	0,51±0,01 dA	0,51±0,01 dA	0,51	
	S2	0,63±0,02 cC	0,64±0,02 cB	0,65±0,03 cA	0,65±0,02 cA	0,64	
	S3	0,82±0,02 bB	0,83±0,01 bB	0,86±0,01 bA	0,86±0,01 bA	0,84	
	S4	1,45±0,01 aC	1,48±0,01 aB	1,49±0,02 aA	1,50±0,02 aA	1,48	
	Ort.	0,69	0,69	0,70	0,71		
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	IWUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
R0			R1	R2	R3	Ort.	
2023	Atık Su	Sulama Seviyesi	IWUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
	S1	0,50±0,04 dB	0,50±0,01 dB	0,52±0,01 dA	0,52±0,03 dA	0,51	
	S2	0,64±0,02 cB	0,64±0,03 cB	0,67±0,04 cA	0,67±0,02 cA	0,66	
	S3	0,87±0,01 bB	0,87±0,01 bB	0,90±0,02 bA	0,90±0,04 bA	0,89	
	S4	1,69±0,04 aB	1,70±0,03 aB	1,76±0,01 aA	1,77±0,02 aA	1,73	
	Ort.	0,93	0,93	0,96	0,96		
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	IWUE Ort±SH (kg/m³)				
			Bakteri Uygulamaları				
R0			R1	R2	R3	Ort.	

Tablo 21. (devamı)

Ortalama	Temiz Su	Sulama Seviyesi	IWUE Ort±SH (kg/m³)					
			Bakteri Uygulamaları					
			R0	R1	R2	R3	Ort.	
			S1	0,46±0,02 dB	0,46±0,03 dB	0,48±0,01 dA	0,48±0,02 dA	0,47
			S2	0,58±0,01 cB	0,58±0,04 cB	0,61±0,03 cA	0,62±0,03 cA	0,60
	Atık Su	Sulama Seviyesi	S3	0,79±0,03 bB	0,80±0,01 bB	0,82±0,03 bA	0,82±0,04 bA	0,81
			S4	1,53±0,01 aB	1,56±0,04 aB	1,61±0,02 aA	1,61±0,01 aA	1,58
			Ort.	0,84	0,85	0,88	0,88	
			IWUE Ort±SH (kg/m³)					
			Bakteri Uygulamaları					
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	R0	R1	R2	R3	Ort.	
			S1	0,50±0,01 dB	0,51±0,01 dA	0,51±0,01dA	0,51±0,01 dA	0,51
			S2	0,64±0,01 cB	0,64±0,01 cB	0,66±0,01 cA	0,66±0,01 cA	0,65
			S3	0,85±0,04 bB	0,85±0,04 bB	0,88±0,03 bA	0,88±0,03 bA	0,87
			S4	1,58±0,17 aB	1,59±0,16 aB	1,63±0,19 aA	1,64±0,19 aA	1,61
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Ort.	0,89	0,90	0,92	0,92	
			IWUE Ort±SH (kg/m³)					
			Bakteri Uygulamaları					
			R0	R1	R2	R3	Ort.	
			S1	0,46±0,01 dB	0,47±0,01 dB	0,49±0,01 dA	0,49±0,01 dA	0,47
	S2	0,58±0,01 cB	0,59±0,01 cB	0,61±0,01 cA	0,62±0,01 cA	0,60		
	S3	0,80±0,01 bB	0,81±0,01 bB	0,83±0,01 bA	0,83±0,01 bA	0,82		
	S4	1,47±0,11 aB	1,48±0,11 aB	1,52±0,13 aA	1,52±0,13 aA	1,49		
	Ort.	0,82	0,84	0,86	0,86			

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 22. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin IWUE Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0,50±0,01*	0,51±0,03*	0,51±0,01*	0,51±0,01*
		Temiz Su	0,46±0,01	0,47±0,03	0,48±0,01	0,49±0,01
	S2	Atık Su	0,63±0,02*	0,64±0,02*	0,65±0,03*	0,65±0,02*
		Temiz Su	0,58±0,02	0,59±0,01	0,60±0,01	0,62±0,03
	S3	Atık Su	0,82±0,02 ^{ns}	0,83±0,01 ^{ns}	0,86±0,01 ^{ns}	0,86±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	0,81±0,02	0,82±0,02	0,83±0,01	0,83±0,01
	S4	Atık Su	1,45±0,01*	1,48±0,01*	1,49±0,02*	1,50±0,02*
		Temiz Su	1,38±0,01	1,40±0,01	1,42±0,01	1,43±0,03
2023	S1	Atık Su	0,50±0,04*	0,50±0,01*	0,51±0,01*	0,51±0,03*
		Temiz Su	0,46±0,02	0,46±0,03	0,48±0,01	0,48±0,02
	S2	Atık Su	0,64±0,02*	0,65±0,03*	0,67±0,04*	0,67±0,02*
		Temiz Su	0,58±0,01	0,58±0,04	0,61±0,03	0,62±0,03
	S3	Atık Su	0,87±0,01*	0,88±0,01*	0,90±0,02*	0,90±0,04*
		Temiz Su	0,79±0,03	0,80±0,01	0,82±0,03	0,82±0,04
	S4	Atık Su	1,69±0,04*	1,70±0,03*	1,76±0,01*	1,77±0,02*
		Temiz Su	1,53±0,01	1,56±0,04	1,61±0,02	1,61±0,01
Ortalama	S1	Atık Su	0,50±0,01*	0,51±0,01*	0,51±0,01*	0,51±0,01*
		Temiz Su	0,46±0,01	0,47±0,01	0,48±0,01	0,49±0,01
	S2	Atık Su	0,64±0,01*	0,65±0,01*	0,66±0,01*	0,66±0,01*
		Temiz Su	0,58±0,01	0,59±0,01	0,61±0,01	0,62±0,01
	S3	Atık Su	0,85±0,04*	0,86±0,04*	0,88±0,03*	0,88±0,03*
		Temiz Su	0,80±0,01	0,81±0,01	0,83±0,01	0,83±0,01
	S4	Atık Su	1,57±0,17*	1,59±0,16*	1,63±0,19*	1,64±0,19*
		Temiz Su	1,46±0,11	1,48±0,11	1,52±0,13	1,52±0,13

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 19'a göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulama sayısının WUE değerleri üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 19 incelendiğinde en yüksek WUE değerinin arıtılmış atık su uygulaması S4R3 konusunda, en düşük ise temiz su uygulaması S1R0 konusunda elde edildiği görülmektedir. Denemede her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz su konularından R0 ile R1 ve R2 ile R3 uygulamaları WUE üzerine istatistiksel olarak benzer özellik

göstermiştir. Denemede her iki yılda da su stresi ve bakteri uygulama sayısı arttıkça WUE değerlerinin arttığı görülmektedir. Deneme ilk yılında WUE değerleri 0,32-0,56 kg/m³, ikinci yılında ise 0,27-0,44 kg/m³ arasında değişmiştir. Araştırmanın ilk yıl WUE değerleri ikinci yıl değerlerine göre daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durum her iki vejetatif dönemde elde edilen verim değerlerinin benzerlik göstermesine rağmen, sezonluk yağış miktarlarının farklı olmasından dolayı bitki su tüketimini etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. WUE değerinin 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama verilerine göre R3 bakteri uygulamaları ile arttığı belirlenmiştir. İlk yıl en yüksek WUE S4 konusunda elde edilmiş olup, S0'e göre %21,95 daha yüksek değer almıştır. Benzer şekilde R3 bakteri konusunun R0'a göre %10 daha yüksek WUE değeri aldığı hesaplanmıştır. Ancak ikinci yıl S4 ve S0 konularının WUE değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu durumun ikinci yıl S0 konusunun verim değerlerinin ve sezonluk yağış miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 20 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının WUE üzerine etkileri ilk yıl S3 konusu dışında istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da arıtılmış atık su kaynağı WUE değeri ortalamaları, temiz su koşullarına göre daha yüksek değerler almıştır. Arıtılmış atık suyun besleyici özelliğinden dolayı sulama sırasında toprak verimliliğinin arttığı göz önüne alındığında, arıtılmış atık su kullanımıyla elde edilen daha yüksek su verimliliği (WUE) değerleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. İki yılın ortalama değerlerine göre S4 konusunda WUE değerleri en yüksek hesaplanmış; arıtılmış atık su WUE değerleri, temiz suya göre sırasıyla %7,31(R0), %9,52(R1), %6,81(R2) ve %6,52(R3) daha yüksek saptanmıştır.

Tablo 21 irdelendiğinde her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulamalarının IWUE değerlerine üzerine etkileri arasında istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Denemenin ilk yılında IWUE değerleri 0,46-1,50 kg/m³, ikinci yılında ise 0,46-1,77 kg/m³ arasında değişmiştir. Araştırmanın her iki yılında da su kısıtı ve bakteri uygulama sayıları arttıkça IWUE değerleri arttığı saptanmış olup, R0 ile R1 ve R2 ile R3 konuları istatistiksel olarak benzerlik göstermiştir. Araştırmanın ilk yıl IWUE değerleri ikinci yıl değerlerine göre daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durum ikinci yıl uygulanan sulama suyu miktarının, ilk yıla göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki yılda da uygulamaların ve su kaynaklarının ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Uygulamaların ortalamasında en yüksek IWUE değeri 2023 yılı 1,77 kg/m³ ile arıtılmış atıksu uygulamasının S4R3 konusunda, en düşük ise 2022 yılında 0,46 kg/m³ ile temiz suyun S1R0 konusunda elde edilmiştir. Temiz su ve arıtılmış atık su ortalamasında ise en yüksek değerler arıtılmış atık su uygulamasında belirlenmiştir. İki yılın ortalama değerlerine

göre S4R3 arıtılmış atık su uygulamasının IWUE değeri kontrol olarak düşünülen S1R0 temiz su uygulamasına göre %228 daha fazla olmuştur. Bakteri konuları incelendiğinde R2 ve R3 bakteri uygulamaları benzerlik göstermektedir. IWUE değerleri, WUE değerlerine kıyasla daha yüksek hesaplanmıştır. Bu doğrultuda bitkilerin su tüketiminde ana kaynağın sulama suyu olduğu söylenebilir.

Tablo 22 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının IWUE üzerine etkileri S3 konusu dışında istatistiksel olarak $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da arıtılmış atık su kaynağı IWUE değeri ortalamaları, temiz su koşullarına göre daha yüksek değerler almıştır. Arıtılmış atık su uygulamalarının daha yüksek IWUE ve WUE değerleri elde etmesi, toprak verimliliğini iyileştirerek, verimliliği artırmış olabileceğini göstermektedir. Erzurum koşullarında farklı bitki türlerinde daha önce yapılan su kısıtı denemelerinde de tarafımızca yapılan çalışma verilerine benzer veriler elde edilmiştir (Kuslu *et al.* 2014; Ors *et al.* 2016). Benzer şekilde Erice *et al.* (2010) yonca bitkisinde farklı kuraklık seviyelerinin WUE değerlerini azalttığını belirlemişlerdir. Çalışmalarında su stresinin bitkide fotosentetik enzimlerin aktivitelerini azaltabileceği ve bunun da WUE'de bir düşüşe neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Kısıtlı sulama koşullarında, yetiştirilen yazlık kabak bitkisinde IWUE değeri 176,6 kg/ha/mm ile en yüksek tam sulama (%100) konusunda elde edilmiştir ve kısıtlı sulama konuları arasında istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Kuslu *et al.* 2014). Kabakta kısıntılı sulama seviyelerini kapsayan bir sera çalışmasında en yüksek WUE değeri tam sulama konusunda 0,26 g/mm olarak tespit edilmiştir (Ors *et al.* 2016). Farklı bitki ve sulama konularında yapılan çalışmalar incelendiğinde kısıtlı sulama koşulları altında yetiştirilen bitkilerin sulama seviyesi azaldıkça, WUE ve IWUE değerlerinin arttığı söylenebilir (Marsic *et al.* 2012; Doğan Demir 2016; Samancıoğlu 2016). Bununla birlikte arıtılmış atık suların temiz suya göre daha yüksek WUE ve IWUE değerlerine sahip oldukları bildirilmiştir (Wang *et al.* 2013; Rao *et al.* 2016; Shareef *et al.* 2018; Karakaya and Ödemiş, 2019; Chand *et al.* 2020; GhassemiSahebi *et al.* 2020).

Erzurum koşullarında yapılan bir marul denemesinde kısıtlı sulama uygulamalarının olumsuz etkilerine karşı *B. megaterium* TV-6D ve *B. subtilis* TV-12H bakteri uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı ölçüde bitkilerde su kullanım verimliliğini (WUE) artırdığı ve bitki gelişimini iyileştirdiği belirlenmiştir (Sahin *et al.* 2015a). Farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen bakteri aşılı ve aşısız soyanın su verim ilişkilerinin belirlenmesi üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada bakteri aşılı bitkilerin WUE ve IWUE değerlerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Karakaya and Ödemiş, 2019).

Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Değerleri

Bitki boyu

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama bitki boyu Tablo 23'te; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin bitki boyuna etkisi ise Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 23. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Bitki Boyuna Etkisi

		Sulama Seviyesi	Bitki Boyu Ort±SH (cm)			
			Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S0	75,10±0,66 cC	80,85±0,95 cB	81,81±0,75 cB	85,53±1,58 cA
		S1	95,89±1,12 aB	94,49±0,25 aB	96,86±0,94 aB	98,48±0,57 aA
		S2	95,93±1,23 aB	93,51±1,37 aB	95,98±1,69 aB	97,56±0,17 aA
		S3	90,80±1,06 bC	92,20±1,17 bB	93,30±0,52 abA	92,93±1,44 bA
		S4	88,78±0,97 bB	91,02±0,57 bA	91,40±1,09 bA	90,89±0,46 bA
		Ort.	91,05	89,86	91,87	93,08
	Temiz Su	S0	75,10±0,66 cC	80,85±0,95 cB	81,81±0,75 bB	85,53±1,58 cA
		S1	88,13±1,01 aB	89,33±1,36 aA	89,50±0,86 aA	89,05±1,60 aA
		S2	87,21±0,35 abB	84,40±1,55 bB	89,00±1,10 aA	88,43±0,21 aA
		S3	87,17±0,36 abB	84,13±0,58 bC	88,20±0,94 aA	85,70±1,47 abB
		S4	84,83±1,33 bA	82,48±0,91 bB	87,20±0,98 bA	82,56±0,73 cB
		Ort.	84,48	84,83	87,14	86,25
2023	Atık Su	S0	78,12±0,78 dD	81,24±0,10 dC	85,13±0,68 dB	89,10±0,67 dA
		S1	103,17±0,43 aC	106,39±0,23 aB	106,58±0,14 aB	107,36±0,41 aA
		S2	100,87±0,37 aC	103,12±0,28 aB	103,10±0,15 aB	105,23±0,31 aA
		S3	93,25±0,81 bC	95,78±0,47 bB	95,89±0,46 bB	98,26±0,84 bA
		S4	86,45±0,25 cC	89,98±0,74 cB	90,23±0,76 cB	92,54±0,26 cA
		Ort.	93,37	95,30	96,18	98,49
	Temiz Su	S0	78,12±0,78 dD	81,24±0,10 dC	85,13±0,68 dB	89,10±0,67 dA
		S1	91,26±0,59 aB	93,25±0,41 aA	93,75±0,72 aA	94,05±0,59 aA
		S2	90,75±0,88 aC	92,51±0,33 aB	93,21±0,96 aA	93,60±0,34 aA
		S3	86,28±0,72 bC	88,12±0,65 bB	88,04±0,29 bB	90,10±0,61 bA
		S4	82,23±0,25 cC	84,58±0,82 cB	85,27±0,69 cB	87,34±0,42 cA
		Ort.	85,72	87,94	89,08	90,83
Ortalama	Atık Su	S0	76,61±2,13 dD	81,04±0,27 dC	83,47±2,34 dB	87,31±1,78 dA
		S1	99,53±3,14 aC	100,44±4,41 aB	101,72±3,87 aA	102,92±4,44 aA
		S2	98,40±3,49 aB	98,31±3,79 aB	99,54±4,04 aB	101,39±3,83 aA
		S3	92,02±1,73 bC	93,99±2,53 bB	94,59±1,83 bA	95,59±2,66 bA
		S4	87,61±1,64 cC	90,50±0,73 cB	90,81±0,82 cB	91,71±0,82 cA
		Ort.	90,83	92,85	94,02	95,78
	Temiz Su	S0	76,61±2,13 dD	81,04±0,27 eC	83,47±2,34 dB	87,31±2,52 bA
		S1	89,69±2,21 aB	91,29±2,77 aA	91,62±3,00 aA	91,55±3,53 aA
		S2	88,98±2,50 aB	88,45±3,14 bB	91,10±2,97 aA	91,01±3,65 aA
		S3	86,72±0,62 bB	86,12±2,82 cB	88,12±0,11 bA	87,90±3,11 bA
		S4	83,53±1,83 cC	83,54±1,48 dC	86,23±1,36 cA	84,95±3,37 cB
		Ort.	85,10	86,08	88,10	88,54

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 24. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Bitki Boyuna Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	95.89±1.12*	94.49±0.25*	96.86±0.94*	98.48±0.57*
		Temiz Su	88.13±1.01	89.33±1.36	89.50±0.86	89.05±1.60
	S2	Atık Su	95.93±1.23*	93.51±1.37*	95.98±1.69*	97.56±0.17*
		Temiz Su	87.21±0.35	84.40±1.55	89.00±1.10	88.43±0.21
	S3	Atık Su	90.80±1.06*	91.02±1.17*	93.30±0.52*	92.93±1.44*
		Temiz Su	87.17±0.36	84.13±0.58	88.20±0.94	85.70±1.47
	S4	Atık Su	88.78±0.97*	92.20±0.57*	91.40±1.09*	90.89±0.46*
		Temiz Su	84.83±1.33	82.48±0.91	87.20±0.98	82.56±0.73
2023	S1	Atık Su	103.17±0.43*	106.39±0.23*	106.58±0.14*	107.36±0.41*
		Temiz Su	91.26±0.59	93.25±0.41	93.75±0.72	94.05±0.59
	S2	Atık Su	100.87±0.37*	103.12±0.28*	103.10±0.15*	105.23±0.31*
		Temiz Su	90.75±0.88	92.51±0.33	93.21±0.96	93.60±0.34
	S3	Atık Su	93.25±0.81*	95.78±0.47*	95.89±0.46*	98.26±0.84*
		Temiz Su	86.28±0.72	88.12±0.65	88.04±0.29	90.10±0.61
	S4	Atık Su	86.45±0.25*	89.98±0.74*	90.23±0.76*	92.54±0.26*
		Temiz Su	82.23±0.25	84.58±0.82	85.27±0.69	87.34±0.42
Ortalama	S1	Atık Su	99.53±3.14*	100.44±4.41*	101.72±3.87*	102.92±4.44*
		Temiz Su	89.69±2.21	91.29±2.77	91.62±3.00	91.55±3.53
	S2	Atık Su	98.40±3.49*	98.31±3.79*	99.54±4.04*	101.39±3.83*
		Temiz Su	88.98±2.50	88.45±3.14	91.10±2.97	91.01±3.65
	S3	Atık Su	92.02±1.73*	93.99±2.53*	94.59±1.83*	95.59±2.66*
		Temiz Su	86.72±0.62	86.12±2.82	88.12±0.11	87.90±3.11
	S4	Atık Su	87.61±1.64*	90.50±0.73*	90.81±0.82*	91.71±0.82*
		Temiz Su	83.53±1.83	83.54±1.48	86.23±1.36	84.95±3.37

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p<0.05$ önemlidir.

Tablo 23'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının bitki boyu üzerine etkisi $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2022 yılı ve 2023 yılı içerisinde gerçekleştirilen çalışmada bitki boyu üzerine elde edilen veriler irdelendiğinde sulama suyu miktarı arttıkça bitki boyunun arttığı gözlenmiştir. Çalışmanın ilk yıl bitki boyu 75,10-98,48 cm, ikinci yılında 78,12-107,36 cm olarak belirlenmiştir. Her iki yılda da en yüksek bitki boyu S1R3 uygulamasında olup en düşük bitki boyu ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda belirlenmiştir. Yağışa dayalı konuda bakteri uygulama sayısı arttıkça bitki boyundaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum, su stresinin bitki üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada bakteri uygulama sayısının önemli olduğu sonucunu doğurmuştur.

Tablo 24 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bu durum bakteri uygulanmayan (R0) konuda olduğu gibi en yüksek bitki boyuna sahip S1R3 konusunda da gözlenmiştir. En yüksek bitki boyuna sahip S1R3 konusu incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulamasına göre bitki boyu ortalamasını 2022 ve 2023 yılında sırasıyla %10,58 ve %14,15 artırdığı hesaplanmıştır. Arıtılmış atık su kullanarak sulama yapmak, temiz su kullanarak sulamaya göre bitki büyümesinin artmasına neden olabilir. Bu artışın nedeni, atık suyun yüksek besin içeriği, özellikle de azot katkısıdır. Ancak sulama kısıtlamaları olduğunda, bitki büyümesi azalabilir. Bu durum, toprağa su ve besin girişinin azalmasıyla ilişkilidir. Bu sonuçlar, su kaynaklarının kısıtlı veya sınırlı olduğu bölgelerde atık su kullanımının faydalı bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Birçok araştırmacı

benzer şekilde bitki boyunda artışın atık su kullanımıyla sulama koşullarında yüksek besin elementi katkısından kaynaklandığını ortaya koymuştur (Jaiswal and Elliott, 2011; Alkhamisi *et al.* 2017; Ağırağaç ve Çelebi 2021; Shah *et al.* 2022; Hajhashemi *et al.* 2022). Ayrıca su stresine bağlı olarak bitki boyunda azalışlar görüldüğüne dair birçok araştırma gerçekleştirilmiştir (Kermani and Asadi 2019; Bhattarai *et al.* 2020; Chand *et al.* 2020; Rady *et al.* 2020). Bakteri uygulamalarının da bitki boyu üzerine olumlu etki yaptığı belirlenmiştir. Bu katkının etkisi temiz suya göre daha fazla olmuştur. Bunun nedeni bitki büyümesini teşvik eden bakteri kombinasyonunun bitki besin elementlerini alımını kolaylaştırabileceği kanısına varılmıştır. Arıtılmış atık su içeriğinin azot ve fosfor bakımından zengin olması ve kullanılan bakteri kombinasyonunun da azot ve fosfor çözen bakteriler içermesi bu olumlu farkı öne çıkarmış olabilir.

Gövde çapı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama gövde çapı Tablo 25’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin gövde çapına etkisi ise Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 25. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Gövde Çapına Etkisi

2022	Atık Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	6,830±0,05 eD	7,510±0,06 eC	7,740±0,06 eB	7,950±0,06 eA	7,507
		S1	8,720±0,06 aD	8,880±0,06 aC	9,246±0,08 aB	9,300±0,05 aA	9,036
		S2	8,410±0,06 bD	8,650±0,05 bC	8,673±0,03 bB	8,810±0,06 bA	8,635
S3	8,213±0,08 cD	8,310±0,06 cC	8,410±0,06 cB	8,510±0,07 cA	8,360		
S4	7,820±0,06 dD	7,920±0,06 dC	8,126±0,06 dB	8,203±0,03 dA	8,017		
Ort.	7,998	8,254	8,439	8,554			
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	6,830±0,06 eD	7,510±0,06 eC	7,740±0,06 eB	7,950±0,06 cA	7,507
		S1	8,240±0,06 aD	8,360±0,06 aC	8,450±0,06 aB	8,510±0,06 aA	8,390
		S2	8,150±0,06 bB	8,180±0,06 bB	8,260±0,06 bA	8,276±0,03 bA	8,216
S3	7,830±0,06 cB	7,863±0,08 cB	7,940±0,06 cA	7,956±0,06 cA	7,897		
S4	7,760±0,06 dB	7,783±0,03 dB	7,850±0,06 dA	7,853±0,06 cA	7,811		
Ort.	7,762	7,939	8,048	8,109			
	Atık Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	7,29±0,06 eD	7,58±0,03 eC	7,82±0,05 eB	8,05±0,07 eA	7,69
		S1	9,12±0,07 aD	9,56±0,05 aC	10,02±0,04 aB	10,52±0,06 aA	9,81
		S2	8,78±0,03 bD	8,96±0,06 bC	9,18±0,06 bB	9,41±0,07 bA	9,08
S3	8,46±0,05 cD	8,63±0,04 cC	8,91±0,03 cB	9,02±0,06 cA	8,76		
S4	8,33±0,04 dD	8,46±0,06 dC	8,61±0,06 dB	8,78±0,03 dA	8,55		
Ort.	8,40±0,06	8,64	8,91	9,16			
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	7,29±0,06 eD	7,58±0,03 eC	7,82±0,05 eB	8,05±0,07 eA	7,69
		S1	8,55±0,06 aD	8,72±0,06 aC	9,01±0,06 aB	9,28±0,07 aA	8,89
		S2	8,26±0,04 bD	8,43±0,07 bC	8,61±0,04 bB	8,88±0,06 bA	8,55
S3	7,98±0,07 cD	8,25±0,06 cC	8,43±0,07 cB	8,64±0,07 cA	8,33		
S4	7,52±0,03 dD	7,78±0,04 dC	7,99±0,04 dB	8,13±0,04 dA	7,86		
Ort.	7,9	8,2	8,4	8,6			

Tablo 25. (devamı)

Ortalama	Atık Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
		S0	7,1±0,32 eD	7,5±0,05 eC	7,8±0,04 eB	8,0±0,07 eA	7,6
		S1	8,9±0,28 aD	9,2±0,48 aC	9,6±0,54 aB	9,9±0,84 aA	9,4
		S2	8,6±0,26 bC	8,8±0,21 bB	8,9±0,35 bB	9,1±0,42 bA	8,9
		S3	8,3±0,17 cC	8,5±0,22 cB	8,7±0,36 cA	8,8±0,36 cA	8,6
		S4	8,1±0,36 dC	8,2±0,38 dB	8,4±0,34 dA	8,5±0,40 dA	8,3
		Ort.	8,2	8,4	8,7	8,9	
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Gövde Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
		S0	7,1±0,32 eD	7,5±0,05 eC	7,8±0,04 dB	8,0±0,07 dA	7,6
		S1	8,4±0,21 aC	8,5±0,25 aC	8,7±0,39 aB	8,9±0,54 aA	8,6
S2		8,2±0,07 bC	8,3±0,17 bC	8,4±0,24 bB	8,6±0,42 bA	8,4	
S3		7,9±0,10 cB	8,1±0,27 cB	8,2±0,34 cA	8,3±0,48 cA	8,1	
S4		7,6±0,16 dC	7,8±0,01 dB	7,9±0,09 dA	8,0±0,19 dA	7,8	
Ort.		7,8	8,0	8,2	8,4		

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 26. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Gövde Çapına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	8,72±0,06*	8,88±0,06*	9,24±0,08*	9,30±0,05*
		Temiz Su	8,24±0,06	8,36±0,06	8,45±0,06	8,51±0,06
	S2	Atık Su	8,41±0,06*	8,65±0,05*	8,67±0,03*	8,80±0,06*
		Temiz Su	8,15±0,06	8,18±0,06	8,26±0,06	8,27±0,03
	S3	Atık Su	8,21±0,08*	8,31±0,06*	8,41±0,06*	8,51±0,07*
		Temiz Su	7,83±0,06	7,86±0,08	7,94±0,06	7,95±0,06
	S4	Atık Su	7,820±0,06*	7,920±0,06*	8,126±0,06*	8,203±0,03*
		Temiz Su	7,760±0,06	7,783±0,03	7,850±0,06	7,853±0,06
2023	S1	Atık Su	9,12±0,07*	9,56±0,05*	10,02±0,04*	10,52±0,06*
		Temiz Su	8,55±0,06	8,72±0,06	9,01±0,06	9,28±0,07
	S2	Atık Su	8,78±0,03*	8,96±0,06*	9,18±0,06*	9,41±0,07*
		Temiz Su	8,26±0,04	8,43±0,07	8,61±0,04	8,88±0,06
	S3	Atık Su	8,46±0,05*	8,63±0,04*	8,91±0,03*	9,02±0,06*
		Temiz Su	7,98±0,07	8,25±0,06	8,43±0,07	8,64±0,07
	S4	Atık Su	8,33±0,04*	8,46±0,06*	8,61±0,06*	8,78±0,03*
		Temiz Su	7,52±0,03	7,78±0,04	7,99±0,04	8,13±0,04
Ortalama	S1	Atık Su	8,9±0,28*	9,2±0,48*	9,6±0,54*	9,9±0,84*
		Temiz Su	8,4±0,21	8,5±0,25	8,7±0,39	8,9±0,54
	S2	Atık Su	8,6±0,26*	8,8±0,21*	8,9±0,35*	9,1±0,42*
		Temiz Su	8,2±0,07	8,3±0,17	8,4±0,24	8,6±0,42
	S3	Atık Su	8,3±0,17*	8,5±0,22*	8,7±0,36*	8,8±0,36*
		Temiz Su	7,9±0,10	8,1±0,27	8,2±0,34	8,3±0,48
	S4	Atık Su	8,1±0,36*	8,2±0,38*	8,4±0,34*	8,5±0,40*
		Temiz Su	7,6±0,16	7,8±0,01	7,9±0,09	8,0±0,19

ns: istatiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Tablo 25'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının gövde çapı üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2022 yılı ve 2023 yılı içerisinde

gerçekleştirilen çalışmada gövde çapı üzerine elde edilen veriler irdelendiğinde sulama suyu miktarı ve bakteri uygulamalarının artmasıyla gövde çaplarının arttığı belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk yıl gövde çapı 6,83-9,30 mm, ikinci yılında ise 7,29-10,52 mm arasında belirlenmiştir. Her iki yılda da en yüksek gövde çapı S1R3 uygulamasında olup en düşük gövde çapı ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda belirlenmiştir. Arıtılmış atık suyun farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulamalarına ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde bakteri uygulamaları ve sulama seviyeleri ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

Tablo 26 irdelendiğinde her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının gövde çapı üzerine etkileri istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek gövde çapına sahip S1R3 konusu incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulamasına göre gövde çapını 2022 ve 2023 yıllarında sırasıyla %9,40 ve %13,36 artırdığı hesaplanmıştır. Arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz suya göre gövde çapını artırdığı Mousavi and Shahsavari (2014) ve Quemada *et al.* (2016) tarafından bildirilmiş olup, gövde çapının değişiminin içeriğindeki azot miktarından kaynaklanabileceği vurgulanmıştır (Lu *et al.* 2015; Vergie *et al.* 2017). Chand *et al.* (2020), farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen domates bitkisinin gövde çapının su kısıtı artırdığını bildirmişlerdir. Benzer sonuçlar, farklı kaynaklar tarafından da desteklenmiştir (Kurunc *et al.* 2011; Abd El-Mageed *et al.* 2022; Li *et al.* 2022). Samancıoğlu vd (2016) farklı sulama seviyeleri altında oluşturulan kuraklığın lahana bitkisinin gelişimini olumsuz yönde etkilediği, fakat bitkilere PGPR uygulanmasının kuraklık stresi ile ortaya çıkacak olumsuzluğa karşı toleransın artırılmasında uygulanabileceği ifade edilmiştir. Benzer çalışmalarda da bitki büyümesini destekleyici rizobakteri (PGPR) uygulamalarının gövde çapını artırdığı bildirilmiştir (Turan *et al.* 2014; Ijaz *et al.* 2018)

Dal sayısı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama dal sayısı Tablo 27’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin dal sayısına etkisi ise Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 27. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Dal Sayısına Etkisi

		Atık Su	Dal Sayısı Ort±SH (adet)					
			Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				Ort.
				R0	R1	R2		
2022	Temiz Su	Atık Su	S0	4,94±0,08 c	5,25±0,01 d	5,04±0,08 d	5,15±0,14 e	5,09
			S1	6,38±0,05 a	6,34±0,01 a	6,24±0,05 a	6,66±0,10 a	6,39
			S2	6,34±0,08 a	6,02±0,02 b	5,91±0,08 b	6,14±0,08 b	6,10
			S3	5,95±0,15 b	5,94±0,01 b	5,87±0,05 c	5,93±0,05 c	5,92
			S4	5,80±0,08 b	5,66±0,01 c	5,81±0,08 c	5,63±0,05 d	5,72
			Ort.	5,88	5,84	5,77	5,90	
			Temiz Su	Atık Su	S0	4,94±0,08 d	5,25±0,01 d	5,04±0,08 d
	S1	6,44±0,08 a			6,15±0,01 a	6,28±0,11 a	5,97±0,08 a	6,44
	S2	5,96±0,11 b			6,03±0,08 b	6,05±0,25 b	5,84±0,08 b	5,91
	S3	5,73±0,06 b			5,77±0,01 c	6,02±0,14 b	5,74±0,08 b	5,82
	S4	5,03±0,08 c			5,74±0,08 c	5,84±0,08 c	5,64±0,03 c	5,64
	Ort.	5,64			5,78	5,93	5,78	
	2023	Temiz Su			Atık Su	S0	5,01±0,15 e	5,28±0,03 e
S1			6,51±0,11 a	6,46±0,08 a		6,48±0,05 a	6,52±0,15 a	6,49
S2			6,32±0,01 b	6,28±0,15 b		6,31±0,08 b	6,30±0,05 b	6,30
S3			6,01±0,05 c	6,03±0,01 c		6,03±0,05 c	6,01±0,11 c	6,02
S4			5,68±0,08 d	5,65±0,03 d		5,68±0,15 d	5,63±0,01 d	5,66
Ort.			5,91	5,94		5,95	5,94	
Temiz Su			Atık Su	S0		5,01±0,15 e	5,28±0,03 e	5,26±0,01 e
		S1		6,12±0,06 a	6,14±0,08 a	6,11±0,06 a	6,10±0,04 a	6,12
		S2		6,05±0,14 b	6,02±0,01 b	6,03±0,03 b	6,01±0,14 b	6,03
		S3		5,96±0,03 c	5,98±0,06 c	5,97±0,14 c	5,95±0,03 c	5,97
		S4		5,70±0,01 d	5,72±0,03 d	5,69±0,01 d	5,65±0,06 d	5,69
		Ort.		5,77	5,83	5,81	5,79	
		Ortalama		Temiz Su	Atık Su	S0	4,98±0,05 e	5,27±0,02 e
S1	6,45±0,09 a		6,40±0,08 a			6,36±0,17 a	6,59±0,10 a	6,45
S2	6,33±0,02 b		6,15±0,18 b			6,11±0,28 b	6,22±0,11 b	6,20
S3	5,98±0,04 c		5,99±0,06 c			5,95±0,11 c	5,97±0,06 c	5,97
S4	5,74±0,08 d		5,66±0,02 d			5,75±0,09 d	5,63±0,01 d	5,69
Ort.	5,89		5,89			5,86	5,92	
Temiz Su	Atık Su		S0			4,98±0,05 e	5,27±0,02 e	5,15±0,16 e
			S1	6,28±0,23 a	6,15±0,01 a	6,40±0,40 a	6,04±0,09 a	6,21
			S2	6,01±0,06 b	6,03±0,01 b	6,04±0,01 b	5,93±0,12 b	6,00
			S3	5,85±0,16 c	5,88±0,15 c	6,00±0,05 c	5,85±0,15 c	5,89
			S4	5,37±0,47 d	5,73±0,01 d	5,77±0,11 d	5,65±0,01 d	5,63
			Ort.	5,69	5,81	5,87	5,74	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 28. Arıtılmış Atık su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Dal Sayısına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	6,38±0,05 ^{ns}	6,34±0,01 ^{ns}	6,24±0,05 ^{ns}	6,66±0,10*
		Temiz Su	6,44±0,08	6,15±0,01	6,28±0,11	5,97±0,08
	S2	Atık Su	6,34±0,08*	6,02±0,02 ^{ns}	5,91±0,08 ^{ns}	6,14±0,08*
		Temiz Su	5,96±0,11	6,03±0,08	6,05±0,25	5,84±0,08
	S3	Atık Su	5,95±0,15*	5,94±0,01 ^{ns}	5,87±0,05	5,93±0,05*
		Temiz Su	5,73±0,06	5,77±0,01	6,02±0,14*	5,74±0,08
	S4	Atık Su	5,80±0,08*	5,66±0,01 ^{ns}	5,81±0,08 ^{ns}	5,63±0,05 ^{ns}
		Temiz Su	5,03±0,08	5,74±0,08	5,84±0,08	5,64±0,03
2023	S1	Atık Su	6,51±0,11*	6,46±0,08*	6,48±0,05*	6,52±0,15*
		Temiz Su	6,12±0,06	6,14±0,08	6,11±0,06	6,10±0,04
	S2	Atık Su	6,32±0,01*	6,28±0,15*	6,31±0,08*	6,30±0,05*
		Temiz Su	6,05±0,14	6,02±0,01	6,03±0,03	6,01±0,14
	S3	Atık Su	6,01±0,05 ^{ns}	6,03±0,01 ^{ns}	6,03±0,05 ^{ns}	6,01±0,11 ^{ns}
		Temiz Su	5,96±0,03	5,98±0,06	5,97±0,14	5,95±0,03
	S4	Atık Su	5,68±0,08 ^{ns}	5,65±0,03 ^{ns}	5,68±0,15 ^{ns}	5,63±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	5,70±0,01	5,72±0,03	5,69±0,01	5,65±0,06
Ortalama	S1	Atık Su	6,45±0,09*	6,40±0,08*	6,36±0,17 ^{ns}	6,59±0,10*
		Temiz Su	6,28±0,23	6,15±0,01	6,40±0,40	6,04±0,09
	S2	Atık Su	6,33±0,02*	6,15±0,18*	6,11±0,28*	6,22±0,11*
		Temiz Su	6,01±0,06	6,03±0,01	6,04±0,01	5,93±0,12
	S3	Atık Su	5,98±0,04*	5,99±0,06*	5,95±0,11 ^{ns}	5,97±0,06*
		Temiz Su	5,85±0,16	5,88±0,15	6,00±0,05	5,85±0,15
	S4	Atık Su	5,74±0,08*	5,66±0,02 ^{ns}	5,75±0,09 ^{ns}	5,63±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	5,37±0,47	5,73±0,01	5,77±0,11	5,65±0,01

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 27'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri dal sayısı üzerine etkisi p<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunurken; bakteri uygulamaları istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Deneme de 2022 yılı ve 2023 yılı içerisinde gerçekleştirilen çalışmada sulama suyu miktarı artıkça dal sayısına olumlu bir katkı sağladığı görülmektedir. Çalışmanın ilk yıl dal sayısı 4,94-6,66 adet, ikinci yıl ise 5,01-6,52 adet olarak belirlenmiştir. En yüksek dal sayısı 2022 ve 2023 yılında arıtılmış atık su uygulamasının S1R3 konusunda ve en düşük dal sayısı ise aynı yıl S0R0 konusunda elde edilmiştir. Tüm konular incelendiğinde en düşük dal sayısının yağışa dayalı konuda gözlenmiştir. Bu durumdan sulama ile dal sayısının pozitif bir korelasyon içinde olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 28 irdelendiğinde ilk yıl arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının dal sayısı üzerine etkileri S1R2, S1R3, S2R0, S2R3, S3R0, S3R2, S3R3 ve S4R0 konuları istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuş olup, diğer konular arasında fark bulunmamıştır. İkinci yıl S1 ve S2 konuları p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuş olup, S3 ve S4 önemli bulunmamıştır. Arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının dal sayısına etkisinde belirgin bir eğilim tespit edilememiştir.

Aspir bitkisinde dal sayısı, tanelerin bulunduğu tablaların sayısını ve sonuç olarak tane verimini etkilemesinden dolayı önem taşımaktadır. Shahrokhnia and Sepaskhah, (2017) kısmi kök kuruluğu koşullarında yetiştirilen aspir bitkisinin bazı agronomik ve fizyolojik davranışları üzerine etkilerinin araştırmışlardır. Araştırmada ortalama dal sayısı, denemenin ilk yılı için bitki başına 5,9-9,5 ve ikinci yıl için 7,8-12,8 adet arasında değişmiştir. Öztürk vd (2009) ve Kılıç (2010) tarafından sulu ve kuru koşullarda yürütülen çalışmalarda, sulu koşullarda yetiştirilen aspir bitkisinde kuru koşullara göre dal sayısının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Benzer şekilde farklı araştırmacılar aspir bitkisi üzerine yürüttükleri çalışmalarda dal sayısını 3,9-12 arasında bildirmişlerdir (Çamaş *et al.* 2007; Polat 2007; Esendal *et al.* 2008; İsmail 2011; Öner ve Şeker 2020).

Tabla çapı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama tabla çapı Tablo 29’da; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin tabla çapına etkisi ise Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 29. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tabla Çapına Etkisi

2022	Atık Su	Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	25,74±0,32 bA	23,83±0,16 dB	24,81±0,13 dC	22,41±0,23 dD	24,20
		S1	26,54±0,25 aD	27,12±0,11 aC	27,87±0,14 aB	28,55±0,42 aA	27,50
	Temiz Su	S2	25,88±0,51 bD	26,42±0,10 bC	27,24±0,28 bB	28,45±,0,36 bA	26,98
		S3	25,32±0,12 bD	26,81±0,16 bC	27,37±0,14 bB	28,26±0,19 bA	26,93
		S4	24,55±0,14 cD	25,42±0,15 cC	26,56±0,19 cB	27,74±0,18 cA	26,06
		Ort.	25,60	25,92	26,77	27,08	
		Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)				
Atık Su	Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları					
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
	S0	25,74±0,32 cA	23,83±0,16 cC	24,81±0,13 eB	22,41±0,23 cD	24,20	
	S1	26,45±0,39 aD	26,91±0,19 aC	27,64±0,47 aA	27,43±0,26 aB	27,10	
	S2	25,86±0,17 bC	26,41±0,36 aB	26,71±0,23 cB	27,44±0,18 aA	26,71	
Temiz Su	S3	25,62±0,52 bC	26,22±0,25 bB	27,32±0,19 bA	27,11±0,15 bA	26,57	
	S4	25,24±0,23 cD	26,05±0,33 bC	26,34±0,21 dB	27,24±0,20 bA	25,96	
	Ort.	25,78	25,97	26,56	26,33		
	Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)					
	Atık Su	Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
R0			R1	R2	R3	Ort.	
S0		20,42±0,24 eD	21,30±0,23 eC	21,90±0,54 eB	22,36±0,18 eA	21,50	
S1		25,16±0,12 aD	26,64±0,28 aB	26,16±0,38 aC	26,88±0,37 aA	26,21	
S2		25,09±0,36 bD	25,44±0,14 bC	25,79±0,25 bB	26,28±0,24 bA	25,65	
Temiz Su	S3	24,98±0,5 cD	25,22±0,41 cC	25,30±0,10 cB	25,86±0,22 cA	25,34	
	S4	24,36±0,38 dC	24,39±0,39 dC	24,96±0,32 dB	25,68±0,21 dA	24,85	
	Ort.	24,00	24,60	24,82	25,41		
	Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)					
	Atık Su	Sulama Seviyesi	Bakteri Uygulamaları				
R0			R1	R2	R3	Ort.	
S0		20,42±0,22 eD	21,30±0,41 cC	21,90±0,17 eB	22,36±0,14 eA	21,50	
S1		23,98±0,29 aD	24,24±0,12 aC	25,60±0,39 aB	25,90±0,25 aA	24,93	
S2		23,52±0,12 cD	24,32±0,36 aC	24,51±0,52 bB	24,74±0,33 bA	24,27	
Temiz Su	S3	23,88±0,36 bD	23,92±0,23 bC	24,46±0,26 cB	24,68±0,11 cA	24,24	
	S4	23,03±0,45 dD	23,15±0,15 cC	23,64±0,18 dB	24,10±0,28 dA	23,48	
	Ort.	22,97	23,39	24,02	24,36		

Tablo 29. (devamı)

Ortalama	Atık Su	Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	Ort.
		S0	23,12±3,80 eB	22,61±1,80 eC	23,40±2,06 eA	22,42±0,04 eD	22,82
		S1	25,90±1,13 aD	26,94±0,30 aC	27,10±1,21 aB	27,72±1,18 aA	26,90
	S2	25,52±0,60 bD	25,93±0,71 cC	26,50±1,03 bB	27,40±1,53 bA	26,33	
	S3	25,20±0,20 cD	26,10±1,12 bC	26,30±1,46 cB	27,12±1,70 cA	26,11	
	S4	24,53±0,10 dD	24,92±0,73 dC	25,8±1,13 dB	26,73±1,46 dA	25,50	
	Ort.	24,80	25,30	25,80	26,20		
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Tabla Çapı Ort±SH (mm)				
Bakteri Uygulamaları							
R0			R1	R2	R3	Ort.	
S0		23,12±3,80 eB	22,61±1,80 eC	23,40±2,06 eA	22,42±0,04 eD	22,82	
S1		25,22±1,75 aD	25,63±1,89 aC	26,63±1,44 aB	26,71±1,08 aA	26,10	
S2		24,73±1,65 cD	25,45±1,48 bC	25,62±1,56 cB	26,12±1,91 bA	25,42	
S3		24,81±1,23 bC	25,11±1,63 cB	25,90±2,02 bA	25,96±1,72 cA	25,46	
S4		24,10±1,56 dD	24,63±2,05 dC	25,10±1,91 dB	25,73±2,22 dA	24,83	
Ort.	24,42	24,65	25,31	25,32			

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 30. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Çapına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	26,54±0,02*	27,12±0,01*	27,87±0,14*	28,55±0,01*
		Temiz Su	26,45±0,01	26,91±0,01	27,64±0,01	27,43±0,01
	S2	Atık Su	25,88±0,05 ^{ns}	26,42±0,01 ^{ns}	27,24±0,02*	28,45±,0,01*
		Temiz Su	25,86±0,02	26,41±0,01	26,71±0,01	27,44±0,01
	S3	Atık Su	25,32±0,01	26,81±0,01*	27,37±0,14	28,26±0,01*
		Temiz Su	25,62±0,01*	26,22±0,01	27,22±0,01	27,11±0,01
	S4	Atık Su	24,55±0,01	25,42±0,01	26,56±0,01*	27,74±0,01*
		Temiz Su	25,24±0,02*	26,05±0,01*	26,34±0,01	27,24±0,02
2023	S1	Atık Su	25,16±0,12*	26,64±0,28*	26,16±0,38*	26,88±0,37*
		Temiz Su	23,98±0,29	24,24±0,12	25,6±0,39	25,9±0,25
	S2	Atık Su	25,09±0,36*	25,44±0,14*	25,79±0,25*	26,28±0,24*
		Temiz Su	23,52±0,12	24,32±0,36	24,51±0,52	24,74±0,33
	S3	Atık Su	24,98±0,51*	25,22±0,41*	25,3±0,10*	25,86±0,22*
		Temiz Su	23,88±0,36	23,92±0,23	24,46±0,26	24,68±0,11
	S4	Atık Su	24,36±0,38*	24,39±0,39*	24,96±0,32*	25,68±0,21*
		Temiz Su	23,03±0,45	23,15±0,15	23,64±0,18	24,1±0,28
2022-2023	S1	Atık Su	25,9±1,13*	26,9±0,30*	27,0±1,21*	27,7±1,18*
		Temiz Su	25,2±1,75	25,6±1,89	26,6±1,44	26,7±1,08
	S2	Atık Su	25,5±0,60*	25,9±0,71*	26,5±1,03*	27,4±1,53*
		Temiz Su	24,7±1,65	25,4±1,48	25,6±1,56	26,1±1,91
	S3	Atık Su	25,2±0,20*	26,0±1,12*	26,3±1,46*	27,1±1,70*
		Temiz Su	24,8±1,23	25,1±1,63	25,9±2,02	25,9±1,72
	S4	Atık Su	24,5±0,10*	24,9±0,73*	25,8±1,13*	26,7±1,46*
		Temiz Su	24,1±1,56	24,6±2,05	25,0±1,91	25,7±2,22

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 29'a göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının tabla çapı üzerine etkisi $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Her iki yılda gerçekleştirilen uygulamalarda yağışa dayalı konu dışında bakteri uygulamaları ve sulama suyu miktarı artıkça tabla çapının arttığı belirlenmiş olup, ikinci yılda bakteri uygulamaları ve sulama suyu miktarı artıkça tabla çapının arttığı gözlenmiştir. Denemenin ilk yıl bitki tabla çapı 22,41-28,55 mm, ikinci yıl ise

20,42-26,88 mm arasında belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek tabla çapı değeri arıtılmış atık su koşullarında ilk yıl S1R3 uygulamasında, en düşük ise ikinci yıl sulama uygulanmayan S0R0 konusunda tespit edilmiştir.

Tablo 30 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının tabla çapı üzerine etkileri ilk yıl S2R0 ve S2R1 konuları dışında, ikinci yıl ise tüm konularda istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmada ilk yıl S3R0, S4R0 ve S4R1 konuları dışında, ikinci yıl ise tüm konularda arıtılmış atık suyun, temiz suya göre tabla çapını artırdığı görülmektedir. Aspir bitkisinin tabla çapı, bitki verimini etkileyen önemli öğelerden biridir. Yazdani *et al.* (2018), arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında yetiştirilen ayçiçeği bitkisi üzerine yürüttükleri çalışmada en yüksek bitki tabla çapının arıtılmış atık su koşullarında elde edildiğini bildirilmişlerdir. Al-Lahham *et al.* (2003) ve Demir and Sahin (2017) tarafından arıtılmış atık su ile sulanan domates bitkisinin meyve çapının temiz suya göre, daha yüksek olduğu bulunmuştur. Rawashdeh (2017), farklı sulama seviyeleri ve arıtılmış atık su kullanımının bitki büyümesi, tohum verimi ve ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) verim bileşenleri üzerine gerçekleştirdiği çalışmasında en yüksek tabla çapı değerinin tam sulama (%100) konusunda tespit etmiştir. Sezen vd (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da su kısıtı düzeyinde ki azalmanın tabla çapını artırdığı ifade edilmiştir. Ekin (2020), bitki büyümesini teşvik eden *Bacillus megatorium* M3 ve *Bacillus subtilis* OSU142 suşları ile sulamalı ve kuru koşullar altında aspir bitkisinin yetiştirilmesini değerlendirmiştir. Araştırmada sulu koşullar ile rizobakteri uygulamalarının tabla çapını artırdığı belirtilmiştir.

Tabla sayısı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama tabla sayısı Tablo 31’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin bitki başına tabla sayısına etkisi ise Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 31. Farklı sulama seviyesi ve bakteri uygulamalarının aspir bitkisinin tabla sayısına etkisi

2022	Atık Su	Sulama Seviyesi	Tabla sayısı Ort±SH (Adet)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	10,20±0,21 eD	11,68±0,14 dA	10,66±0,17 cB	10,47±0,16 eC	10,75
		S1	13,96±0,36 aA	12,93±0,13 cD	13,40±0,26 bC	13,76±0,19 bB	13,51
		S2	13,70±0,41 bD	14,60±0,21 aB	14,18±0,33 aC	14,90±0,21 aA	14,35
	Temiz Su	S3	13,01±0,26 cD	13,23±0,35 bB	14,20±0,25 aA	12,91±0,13 dC	13,34
		S4	12,82±0,12 dD	13,23±0,10 bC	13,80±0,12 bA	13,55±0,35 cB	13,35
		Ort.	12,74	13,13	13,25	13,12	
		Sulama Seviyesi	Tabla sayısı Ort±SH (Adet)				
			Bakteri Uygulamaları				
		R0	R1	R2	R3	Ort.	
S0	10,20±0,21 dD	11,68±0,14 eA	10,66±0,17 eB	10,47±0,16 eC	10,75		
S1	13,20±0,20 aD	14,01±0,22 bC	14,71±0,31 aA	14,40±0,20 bB	13,89		
S2	13,16±0,33 aD	14,81±0,16 aA	13,26±0,28 dC	14,03±0,25 cB	13,81		
S3	12,46±0,41 bD	13,76±0,19 cA	13,63±0,15 cB	13,06±0,21 dC	13,41		
S4	11,76±0,10 cD	12,76±0,24 dC	13,70±0,39 bB	14,73±0,13 aA	13,24		
Ort.	12,15	13,4	13,18	13,33			

Tablo 31. (devamı)

2023	Ortalama	Atık Su	Sulama Seviyesi	Tabla sayısı Ort±SH (Adet)					
				Bakteri Uygulamaları					
		R0	R1	R2	R3	Ort.			
		S0	10,38±0,14 dD	10,52±0,39 cC	11,14±0,16 dB	11,55±0,22 cA	10,90		
		S1	12,75±0,25 aD	13,15±0,14 aC	13,51±0,25 aB	13,74±0,14 aA	13,29		
		S2	12,72±0,16 aD	13,18±0,22 aC	13,54±0,22 aB	13,71±0,25 aA	13,29		
		S3	12,54±0,22 bC	13,02±0,25 bB	13,05±0,39 bB	13,35±0,16 bA	12,99		
		S4	12,31±0,39 cD	13,04±0,16 bB	12,90±0,21 cC	13,33±0,14 bA	12,90		
		12,14	12,58	12,83	13,14				
		Temiz Su	Sulama Seviyesi	Tabla sayısı Ort±SH (Adet)					
Bakteri Uygulamaları									
R0	R1		R2	R3	Ort.				
S0	10,38±0,14 dD		10,52±0,39 cC	11,14±0,16 cB	11,55±0,22 cA	10,90			
S1	12,61±0,44 aD		12,78±0,10 aC	12,96±0,23 aB	13,25±0,11 aA	12,90			
S2	12,59±0,12 aD		12,75±0,25 aC	13,01±0,14 aB	13,28±0,35 aA	12,91			
S3	12,42±0,16 bC		12,66±0,33 bB	12,68±0,25 bB	12,89±0,33 bA	12,66			
S4	12,20±0,14 cC		12,69±0,24 bB	12,72±0,43 bB	12,93±0,25 bA	12,66			
12,48	12,72		12,84	13,09					
Atık Su	Sulama Seviyesi		Tabla sayısı Ort±SH (Adet)						
		Bakteri Uygulamaları							
	R0	R1	R2	R3	Ort.				
	S0	10,29±0,12 eD	11,10±0,82 dA	10,90±0,33 eC	11,01±0,76 eB	10,83			
	S1	13,36±0,85 aC	13,04±0,15 cD	13,46±0,05 cB	13,75±0,05 bA	13,40			
	S2	13,21±0,69 bC	13,89±1,01 aB	13,86±0,45 aB	14,31±0,84 aA	13,82			
	S3	12,78±0,33 cC	13,13±0,14 bB	13,63±0,81 bA	13,13±0,31 dB	13,16			
	S4	12,57±0,36 dD	13,14±0,13 bC	13,35±0,63 dB	13,44±0,15 cA	13,12			
	12,44	12,86	13,04	13,13					
	Temiz Su	Sulama Seviyesi	Tabla sayısı Ort±SH (Adet)						
Bakteri Uygulamaları									
R0		R1	R2	R3	Ort.				
S0		10,29±0,12 eD	11,10±0,82 eA	10,90±0,33 dC	11,01±0,76 dB	10,83			
S1		12,91±0,41 aC	13,40±0,86 bB	13,84±1,23 aA	13,83±0,81 aA	13,49			
S2		12,88±0,40 bD	13,78±1,45 aA	13,14±0,17 cC	13,66±0,53 bB	13,36			
S3		12,44±0,05 cD	13,21±0,77 aA	13,16±0,67 cB	12,98±0,12 cC	12,95			
S4		12,02±0,36 dD	12,73±0,05 dC	13,21±0,69 bB	13,83±1,27 aA	12,95			
12,11		12,84	12,85	13,06					

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 32. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Sayısına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	13.96±0.02 *	12.93±0.02	13.40±0.02	13.76±0.02
		Temiz Su	13.20±0.02	14.01±0.02*	14.71±0.02*	14.40±0.02*
	S2	Atık Su	13.70±0.02 *	14.60±0.02	14.18±0.02 *	14.90±0.02*
		Temiz Su	13.16±0.02	14.81±0.02 *	13.26±0.02	14.03±0.02
	S3	Atık Su	13.01±0.02*	13.23±0.02	14.20±0.02*	12.91±0.02
		Temiz Su	12.46±0.02	13.76±0.02*	13.63±0.02	13.06±0.02*
	S4	Atık Su	12.82±0.02*	13.23±0.02*	13.80±0.02*	13.55±0.02
		Temiz Su	11.76±0.02	12.76±0.02	13.70±0.02	14.73±0.02*
2023	S1	Atık Su	12.75±0.25*	13.15±0.14*	13.51±0.25*	13.74±0.14*
		Temiz Su	12.61±0.44	12.78±0.10	12.96±0.23	13.25±0.11
	S2	Atık Su	12.72±0.16*	13.18±0.22*	13.54±0.22*	13.71±0.25*
		Temiz Su	12.59±0.129	12.75±0.25	13.01±0.14	13.28±0.35
	S3	Atık Su	12.54±0.22*	13.02±0.25*	13.05±0.39*	13.35±0.16*
		Temiz Su	12.42±0.16	12.66±0.33	12.68±0.25	12.89±0.33
	S4	Atık Su	12.31±0.39*	13.04±0.16*	12.90±0.21*	13.33±0.14*
		Temiz Su	12.20±0.14	12.69±0.24	12.72±0.43	12.93±0.25
Ortalama	S1	Atık Su	13.36±0.85 *	13.04±0.15	13.46±0.05	13.75±0.05
		Temiz Su	12.91±0.41	13.40±0.86*	13.84±1.23*	13.83±0.81*
	S2	Atık Su	13.21±0.69*	13.89±1.01*	13.86±0.45*	14.31±0.84*
		Temiz Su	12.88±0.40	13.78±1.45	13.14±0.17	13.66±0.53
	S3	Atık Su	12.78±0.33*	13.13±0.14	13.63±0.81*	13.13±0.31*
		Temiz Su	12.44±0.05	13.21±0.77*	13.16±0.67	12.98±0.12
	S4	Atık Su	12.57±0.36*	13.14±0.13*	13.35±0.63*	13.44±0.15
		Temiz Su	12.02±0.36	12.73±0.05	13.21±0.69	13.83±1.27*

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 31'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının bitki başına tabla sayısı üzerine etkisi $p<0.05$ düzeyinde istatikselsel olarak önemli bulunmuştur. Deneme de ilk yıl bitki başına tabla sayısı 10,20-14,90 adet, ikici yıl ise 10,38-13,74 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek tabla sayısı ilk yıl S2R3 konusunda, ikinci yıl ise S1R3 konusunda olup en düşük değer ilk yıl ve ikinci yıl S0R0 konusunda gözlenmiştir. Çalışmanın ilk yılında arıtılmış atık su ve temiz su koşullarının bakteri uygulanmayan konularında su stresi artıkça tabla sayısında bir azalma olmuştur. Bakteri uygulamaları ile beraber su stresinin olumsuz etkisi azalarak grupsal farklılıklar meydana geldiği belirlenmiş olup ikinci yılında ise bakteri ve sulama suyu miktarı artışlarının tabla sayısı değerleri üzerine olumlu katkılar yaptığı görülmektedir. Bakteri uygulamaları incelendiğinde en düşük tabla sayısının bakteri uygulanmayan konularda elde edildiği belirlenmiştir. Denemede her iki yıl ortalamasının en az su verilen S4 konusunun tabla sayısı değeri, yağışa dayalı konuya göre arıtılmış atık su konusunda %28,25, temiz su uygulamasında ise %19,58 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 32 irdelendiğinde her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının tabla sayısı değerleri üzerine etkileri arasında istatikselsel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. İlk yıl S1R1, S1R2, S1R3, S2R1, S3R1, S3R3 ve S4R3 konuları dışında arıtılmış atık su, temiz suya göre tabla sayısını artırdığı görülmektedir. İkinci yıl ise tüm konularda arıtılmış atık su konuları temiz suya göre istatikselsel düzeyde anlamlı bulunmuştur. Aspir retiminde elde edilecek tane ve iek ham maddelerinin düzeyi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan tabla sayısı, verimliliği artırmak için dikkatle takip edilmesi gereken önemli bir faktördür. Shahrokhnia and Sepaskhah (2017) tarafından kısmi kök kuruluğu koşulları altında yetiştirilen aspir bitkisinin tabla sayısının 12-22 arasında değiştiği bildirilmiştir. Farklı su stresi üzerine yürütülen çalışmalar incelendiğinde su stresi artıkça bitki başına tabla sayısının azaldığı bildirilmiştir (Lovelli *et al.* 2007; Singh *et al.* 2016). Saeidi *et al.* (2018) tarafından, farklı biyogübre ve kimyasal gübrelemenin aspir bitkisine etkisi üzerine gerçekleştirilen araştırmada biyogbrelemenin istatikselsel olarak anlamlı olduğu, *Azotobacter* ve *Bacillus* bakterilerinin bitki başına tabla sayısını artırdığı bildirilmiştir. Çalışmada, bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin aspir bitkisi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada bitki başına tabla sayısı kontrol grubunda 10,70 adet, *Azotobacter*+ *Pseudomonas* bakterisi grubunda 23 adet ve *Azotobacter* + *Azospirillum* + *Pseudomonas* grubunda 29,85 adet olarak belirlenmiştir. Heidari *et al.* (2014) tarafından fosforlu gübre ve *Azospirillumun* bakterilerinin etkisi aspir bitkisi üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, *Azospirillum* bakterisinin bitki başına tabla sayısı artırmada etkili olduğu istatikselsel olarak tespit edilmiştir. Bitki başına en yüksek tabla sayısının 26,35 ile *Azospirillum* aşılama konusunda, en düşük tabla sayısı ise 24,04 ile bakteri açılması uygulanmayan konuda elde edilmiştir. Benzer alışmalar incelendiğinde bitki büyümesini

destekleyici rizobakteri (PGPB) uygulamalarının bitki başına tabla sayısını artırdığı bildirilmiştir (Lack *et al.* 2013; Nosheen 2014; Ekin 2020).

Tabla başına tohum sayısı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama tabla başına tohum sayısı Tablo 33'te; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin tabla başına tohum sayısına etkisi ise Tablo 34'de verilmiştir.

Tablo 33. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tabla Başına Tohum Sayısına Etkisi

		Sulama Seviyesi	Tabla Başına Tohum Sayısı Ort±SH (adet)				
			Bakteri Uygulamaları				
2022	Atık Su	S0	41,52±0,01 dA	42,92±0,01 dA	38,10±0,01 dB	38,68±0,01 dB	40,30
		S1	48,17±0,01 aB	48,47±0,01 aB	49,55±0,02 aA	50,67±0,01 aA	49,21
		S2	49,85±0,02 aB	49,43±0,01 aB	50,09±0,01 aA	52,54±0,02 aA	50,47
		S3	44,37±0,01 bB	47,55±0,02 bB	48,72±0,02 bA	48,84±0,03 bA	47,37
		S4	43,08±0,01 cB	45,33±0,01 cA	43,07±0,01 cB	43,22±0,01 cB	43,67
		Ort.	45,40	46,74	45,90	46,79	
	Temiz Su	S0	41,52±0,01 dB	42,92±0,01 dA	38,10±0,01 dC	38,68±0,01 dC	40,30
		S1	47,05±0,03 aC	47,35±0,03 aB	47,83±0,01 aB	48,21±0,02 aA	47,61
		S2	43,26±0,01 bC	44,65±0,02 bB	44,04±0,02 bB	47,95±0,03 bA	44,97
		S3	42,37±0,02 bC	43,67±0,01 bB	44,06±0,01 bB	47,07±0,01 bA	44,04
		S4	42,28±0,02 cC	43,59±0,01 cB	43,03±0,03 cB	46,06±0,02 cA	43,74
		Ort.	43,29	44,43	43,62	45,39	
2023	Atık Su	S0	38,55±0,03 dB	38,11±0,04 dB	39,28±0,01 dA	39,99±0,02 dA	38,98
		S1	49,11±0,02 aB	50,02±0,01 aB	52,11±0,01 aA	52,16±0,03 aA	50,85
		S2	50,02±0,04 aB	50,67±0,04 aB	52,01±0,02 aA	52,03±0,01 aA	51,18
		S3	48,68±0,01 bB	48,74±0,02 bB	49,65±0,03 bA	50,06±0,01 bA	49,13
		S4	42,68±0,02 cB	42,23±0,04 cB	44,15±0,03 cA	44,30±0,04 cA	43,34
		Ort.	45,81	45,95	47,32	47,71	
	Temiz Su	S0	38,55±0,03 dB	38,11±0,04 dB	39,28±0,01 dA	39,99±0,02 dA	38,98
		S1	48,23±0,02 aB	48,36±0,04 aB	49,52±0,03 aA	49,42±0,01 aA	48,88
		S2	47,89±0,01 aB	47,98±0,03 aB	48,89±0,01 aA	48,96±0,03 aA	48,43
		S3	44,62±0,01 bB	44,76±0,03 bB	46,26±0,02 bA	46,33±0,01 bA	45,49
		S4	40,53±0,04 cB	40,66±0,02 cB	42,84±0,01 cA	42,08±0,02 cA	41,53
		Ort.	43,96	43,97	45,36	45,36	
Ortalama	Atık Su	S0	40,04±2,10 dA	40,52±3,40 dA	38,69±0,83 dC	39,34±0,93 dB	39,64
		S1	48,64±0,66 aB	49,25±1,10 aB	50,83±1,81 aA	51,42±1,05 aA	50,03
		S2	49,94±0,12 aC	50,05±0,87 aB	51,05±1,36 aB	52,29±0,36 aA	50,83
		S3	46,53±3,05 bC	48,14±0,84 bB	48,89±0,23 bB	49,45±0,86 bA	48,25
		S4	42,88±0,28 cB	43,78±2,19 cA	43,61±0,76 cA	43,76±0,76 cA	43,51
		Ort.	45,60	46,35	46,61	47,25	
	Temiz Su	S0	40,04±2,10 eA	40,52±3,40 eA	38,69±0,83 eC	39,34±0,93 dB	39,64
		S1	47,64±0,83 aB	47,86±0,71 aB	48,68±1,20 aA	48,81±0,85 aA	48,25
		S2	45,58±3,27 bC	46,32±2,35 bB	46,47±3,43 bB	48,46±0,71 aA	46,70
		S3	43,50±1,59 cD	44,22±0,77 cC	45,16±1,56 cB	46,70±0,52 bA	44,89
		S4	41,41±1,24 dC	42,13±2,07 dB	42,94±0,13 dB	44,07±2,81 cA	42,63
		Ort.	43,63	44,21	44,39	45,47	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 34. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tabla Başına Tohum Sayısına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	48,17±0,01*	48,47±0,01*	49,55±0,02*	50,67±0,01*
		Temiz Su	47,05±0,03	47,35±0,03	47,83±0,01	48,21±0,02
	S2	Atık Su	49,85±0,02*	49,43±0,01*	50,09±0,01*	52,54±0,02*
		Temiz Su	43,26±0,01	44,65±0,02	44,04±0,02	47,95±0,03
	S3	Atık Su	44,37±0,01*	47,55±0,02*	48,72±0,02*	48,84±0,03*
		Temiz Su	42,37±0,02	43,67±0,01	44,06±0,01	47,07±0,01
	S4	Atık Su	43,08±0,01*	45,33±0,01*	43,27±0,01*	43,22±0,01
		Temiz Su	42,28±0,02	43,59±0,01	43,03±0,03	46,06±0,02*
2023	S1	Atık Su	49,11±0,02*	50,02±0,01*	52,11±0,01*	52,16±0,03*
		Temiz Su	48,23±0,02	48,36±0,04	49,52±0,03	49,42±0,01
	S2	Atık Su	50,02±0,04*	50,67±0,04*	52,01±0,02*	52,03±0,01*
		Temiz Su	47,89±0,01	47,98±0,03	48,89±0,01	48,96±0,03
	S3	Atık Su	48,68±0,01*	48,74±0,02*	49,65±0,03*	50,06±0,01*
		Temiz Su	44,62±0,01	44,76±0,03	46,26±0,02	46,33±0,01
	S4	Atık Su	42,68±0,02*	42,23±0,04*	44,15±0,03*	44,30±0,04*
		Temiz Su	40,53±0,04	40,66±0,02	42,84±0,01	42,08±0,02
Ortalama	S1	Atık Su	48,64±0,66*	49,25±1,10*	50,83±1,81*	51,42±1,05*
		Temiz Su	47,64±0,83	47,86±0,71	48,68±1,20	48,81±0,85
	S2	Atık Su	49,94±0,12*	50,05±0,87*	51,05±1,36*	52,29±0,36*
		Temiz Su	45,58±3,27	46,32±2,35	46,47±3,43	48,46±0,71
	S3	Atık Su	46,53±3,05*	48,14±0,84*	48,89±0,23*	49,45±0,86*
		Temiz Su	43,50±1,59	44,22±0,77	45,16±1,56	46,70±0,52
	S4	Atık Su	42,88±0,28*	43,78±2,19*	43,61±0,76*	43,76±0,76*
		Temiz Su	41,41±1,24	42,13±2,07	42,94±0,13	44,07±2,81

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p<0.05$ önemlidir.

Tablo 33'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının tabla başına tohum sayısının üzerine etkisi $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Her iki yıl içerisinde gerçekleştirilen çalışmada da sulama suyu miktarı arttıkça tabla başına tohum sayısının arttığı saptanmış olup, S0 uygulaması dışında bakteri uygulamaları arttıkça tabla başına tohum sayısının arttığı görülmektedir. Çalışmanın ilk yıl tabla başına tohum sayısı 38,10-52,54 adet, ikinci yıl ise 38,11-52,16 adet arasında değiştiği belirlenmiştir. Denemenin her iki yıl içerisinde gerçekleştirilen tabladaki tohum sayısı değerleri benzerlik göstermektedir. Araştırmada en yüksek tabladaki tohum sayısı ilk yıl 52,54 adet ile arıtılmış atık su koşullarında S2R3 konusunda, ikinci yıl ise 52,16 ile S1R3 konusunda gerçekleşmiştir. En düşük değerler ise yağışa dayalı konularda ortaya çıkmış olup, ilk yıl 38,10 adet ile S0R2 konusunda, ikinci yıl ise 38,11 adet ile S0R1 konusunda hesaplanmıştır. Arıtılmış atık su koşullarında farklı sulama seviyeleri için S1 ve S2 ile S3 ve S4 konusu grupsal olarak benzerlik göstermiş olup, temiz su koşullarında ise S2 ve S3 konuları grupsal olarak benzerlik göstermiştir. En düşük değerler sulama uygulanmayan konularda elde edilmiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında S1, S2 ve S3 sulama uygulamaları için bakteri uygulamaları arttıkça tabladaki tohum sayısında bir artış olduğu, ancak S0 ve S4 uygulamalarında istatistiksel olarak herhangi bir artışa neden olmadığı belirlenmiştir. Bu durum bakteri uygulamalarının sulama seviyesi miktarı ile olumlu bir aktivite gösterebileceği olasılığından kaynaklanabilir.

Tablo 34 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının tabladaki tohum sayısı üzerine etkisi istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmanın 2022 yılı S4R3 konusu hariç tüm konularda arıtılmış atık su, temiz suya göre daha yüksek tabla başına tohum sayısı sonucunu vermiştir. Çalışmada en yüksek tabla başına tohum sayısına sahip 2022 yılı S2R3 ve 2023 yılı S1R3 konusu incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulamasına göre tohum sayısını sırasıyla %9,57 ve %5,54 artırdığı hesaplanmıştır.

Bitkide tane sayısı, genellikle verim ölçütü büyük bir öneme sahiptir ve tarımsal üretimde daha belirleyici bir faktör olarak düşünülmektedir. Shahrokhnia and Sepaskhah (2017) tarafından, kısmi kök kuruluğunun aspir bitkisinin fizyolojik tepkisinin incelenmesi üzerine yürüttükleri çalışmada ilk yılında tabla başına düşen aspir tohum sayısı 29-39 adet, ikinci yılında ise 30-44 adet arasında olduğu bildirilmiştir. Ebrahimian *et al.* (2019) farklı sulama düzey (%40, 60, 80 ve 100) koşulları altında aspir bitkisinin yetiştirilmesi üzerine gerçekleştirdiği çalışmada su stresi miktarının artması ile tabla başına tohum sayısında azalış olduğunu ifade etmişlerdir. Johnson *et al.* (2012) ve Singh *et al.* (2016), yürüttükleri benzer çalışmalarda su stresinin tabla başına tohum sayısına olumsuz etki yaptığını bildirmişlerdir. Omid *et al.* (2012), 5 farklı sulama zamanı ve sulama seviyesi uygulamasında aspir bitkisinin tabla başına tohum sayısında istatistiksel olarak bir fark bulmamıştır. Rizobakteri uygulamalarının aspir bitkisine etkisi üzerine gerçekleştirilen çalışmada bitki büyümesini teşvik eden bakteri uygulamalarının tablada bulunan tohum sayısını istatistiksel olarak olumlu etkilediği bildirilmiştir. Araştırmada bakteri aşılı bitkilerin tablada bulunan tohum sayısının, aşısız kontrol grubuna göre %8,44 oranda daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Ekin 2020). Lack *et al.* (2013) benzer çalışmada bitki büyümesini teşvik eden *Azotobacter*+ *Azospirillum* + *Pseudomonas* bakterilerinin kontrol grubuna göre %66 oranında tabla başına tohum sayısını artırdığını belirtmiştir. Bu doğrultuda azot ve fosfor çözücü bakterilerin aktivitesinin tablada tohum oluşumunu artırdığı düşünülmektedir (Nosheen and Bano, 2014; Nosheen 2014; Saeidi *et al.* 2018).

1000 tane ağırlık

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama 1000 tane ağırlık değerleri Tablo 35’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin 1000 tane ağırlığına etkisi ise Tablo 36’da verilmiştir.

Tablo 35. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin 1000 Tane Ağırlığına Etkisi

			1000 Tane Ağırlık Ort±SH (g)			
			Bakteri Uygulamaları			
		Sulama Seviyesi	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S0	41,25±0,1 bD	43,07±0,2 bC	44,84±0,1 bB	45,55±0,2 bA
		S1	42,26±0,2 aD	44,66±0,3 aC	45,64±0,2 aB	48,21±0,3 aA
		S2	42,90±0,2 aD	43,57±0,1 bC	44,42±0,2 bB	45,51±0,1 bA
		S3	42,78±0,1 aD	42,87±0,1 cC	42,91±0,3 cB	43,42±0,2 cA
		S4	41,39±0,3 bD	41,52±0,2 dC	42,82±0,1 cB	45,88±0,1 bA
		Ort.	42,11	43,15	44,04	45,71
	Temiz Su	S0	41,25±0,1 cC	43,07±0,2 bB	44,84±0,1 bB	45,55±0,1 bA
		S1	42,95±0,2 aC	45,07±0,1 aB	45,53±0,1 aB	48,12±0,1 aA
		S2	42,34±0,2 bC	43,98±0,2 bB	42,52±0,1 dB	44,03±0,2 cA
		S3	42,04±0,3 bC	42,74±0,3 bB	43,82±0,2 cB	44,35±0,3 cA
		S4	41,28±0,1 cC	41,26±0,1 cC	43,73±0,3 cB	44,06±0,2 cA
		Ort.	42,36	43,22	44,09	45,22
2023	Atık Su	S0	42,08±0,3 bD	43,93±0,3 bC	45,24±0,2 aB	46,46±0,2 aA
		S1	41,52±0,3 cD	43,32±0,2 bC	44,67±0,4 bB	46,76±0,2 aA
		S2	43,76±0,2 aD	44,04±0,1 aC	45,21±0,2 aB	46,42±0,1 aA
		S3	41,06±0,1 dD	42,16±0,3 cC	43,20±0,3 cB	44,12±0,3 cA
		S4	40,98±0,4 dD	41,10±0,4 dC	42,39±0,1 dB	45,42±0,2 bA
		Ort.	41,77	42,99±0,2	44,16	45,96
	Temiz Su	S0	42,08±0,3 bD	43,93±0,3 aC	45,24±0,2 aB	46,46±0,2 aA
		S1	43,19±0,1 aD	43,72±0,2 aC	44,16±0,2 cB	46,68±0,1 aA
		S2	41,62±0,2 cD	43,76±0,1 aC	44,47±0,1 bB	46,12±0,2 bA
		S3	41,66±0,3 cD	42,31±0,4 bC	43,08±0,3 dB	43,91±0,2 cA
		S4	40,87±0,3 dD	41,50±0,2 cC	42,64±0,4 eB	45,98±0,3 bA
		Ort.	41,88	43,22	44,34	45,59
Ortalama	Atık Su	S0	41,66±0,6 cD	43,50±0,6 bC	45,04±0,3 bB	46,01±0,6 bA
		S1	41,63±0,9 cD	43,99±0,9 aC	45,16±0,7 aB	47,49±1,1 aA
		S2	43,33±0,6 aD	44,01±0,6 aC	44,56±0,6 cB	44,97±0,6 dA
		S3	41,92±1,2 bD	42,51±0,5 cC	43,05±0,2 dB	44,07±0,9 eA
		S4	41,18±0,3 dD	41,31±0,3 dC	42,61±0,3 eB	45,65±0,3 cA
		Ort.	41,94	43,06	44,14	45,84
	Temiz Su	S0	41,66±0,6 cD	43,50±0,6 cC	45,04±0,3 aB	46,01±0,6 bA
		S1	41,31±0,9 dD	44,39±0,9 aC	44,85±0,9 bB	47,40±1,1 aA
		S2	42,26±0,1 aC	43,82±0,2 bB	43,60±1,1 cB	44,47±0,6 dA
		S3	41,83±0,3 bD	42,53±0,3 dC	43,45±0,5 dB	44,13±0,3 eA
		S4	41,28±0,4 dD	41,88±0,8 eC	42,19±0,6 eB	45,02±1,3 cA
		Ort.	41,93	43,22	44,21	45,40

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 36. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin 1000 Tane Ağırlığına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	42,26±0,02 ^{ns}	44,66±0,03 ^{ns}	45,64±0,02 ^{ns}	48,21±0,03 ^{ns}
		Temiz Su	42,34±0,02	45,07±0,01	45,53±0,01	48,12±0,01
	S2	Atık Su	42,90±0,02 ^{ns}	43,57±0,01 ^{ns}	44,42±0,02 ^{ns}	45,51±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	42,84±0,02	43,98±0,02	42,52±0,01	44,03±0,02
	S3	Atık Su	42,78±0,01 ^{ns}	42,87±0,01 ^{ns}	42,91±0,03 ^{ns}	43,42±0,02 ^{ns}
		Temiz Su	42,04±0,03	42,74±0,03	43,82±0,02	44,35±0,03
	S4	Atık Su	41,39±0,03 ^{ns}	41,52±0,02 ^{ns}	42,82±0,01 ^{ns}	45,88±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	41,28±0,01	41,26±0,01	43,73±0,03	44,06±0,02
2023	S1	Atık Su	41,52±0,3 ^{ns}	43,32±0,2 ^{ns}	44,67±0,4 ^{ns}	46,76±0,2 ^{ns}
		Temiz Su	41,66±0,1	43,72±0,2	44,16±0,2	46,68±0,1
	S2	Atık Su	43,76±0,2 ^{ns}	44,04±0,1 ^{ns}	45,21±0,2 ^{ns}	46,42±0,1 ^{ns}
		Temiz Su	43,19±0,2	43,76±0,1	44,47±0,1	46,12±0,2
	S3	Atık Su	41,06±0,1 ^{ns}	42,16±0,3 ^{ns}	43,20±0,3 ^{ns}	44,12±0,3 ^{ns}
		Temiz Su	41,62±0,3	42,31±0,4	43,08±0,3	43,91±0,2
	S4	Atık Su	40,98±0,4 ^{ns}	41,10±0,4 ^{ns}	42,39±0,1 ^{ns}	45,42±0,2 ^{ns}
		Temiz Su	40,87±0,3	41,50±0,2	42,64±0,4	45,98±0,3
Ortalama	S1	Atık Su	41,63±0,9 ^{ns}	43,99±0,9 ^{ns}	45,16±0,7 ^{ns}	47,49±1,1 ^{ns}
		Temiz Su	41,31±0,9	44,39±0,9	44,85±0,9	47,40±1,1
	S2	Atık Su	43,33±0,6 ^{ns}	44,01±0,6 ^{ns}	44,56±0,6 ^{ns}	45,97±0,6 ^{ns}
		Temiz Su	42,26±0,1	43,82±0,2	43,30±1,1	44,47±0,6
	S3	Atık Su	41,92±1,2 ^{ns}	42,51±0,5 ^{ns}	43,05±0,2 ^{ns}	44,07±0,9 ^{ns}
		Temiz Su	41,83±0,3	42,53±0,3	43,45±0,5	44,13±0,3
	S4	Atık Su	41,18±0,3 ^{ns}	41,31±0,3 ^{ns}	42,61±0,3 ^{ns}	45,65±0,3 ^{ns}
		Temiz Su	41,58±0,4	41,88±0,8	42,19±0,6	45,02±1,3

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 35'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının 1000 tane ağırlığı üzerine etkisi p<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Denemenin ilk yılında 1000 tane ağırlığı 41,25-48,21 g, ikinci yılında ise 40,87-46,76 g arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek 1000 tane ağırlık değeri ilk yıl 48,21 g ile S1R3 ve ikinci yıl 46,76 g ile S1R3 konusunda gerçekleşmiştir. En düşük 1000 tane ağırlık değeri ise ilk yıl 41,25 g ile yağışa dayalı ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda, ikinci yıl ise 40,87 g ile temiz su uygulamasının S4R0 konusunda belirlenmiştir. Araştırmada her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz su koşulları altında bakteri uygulamalarının artması 1000 tane ağırlık değerlerini artırmıştır. Sulama düzeylerindeki farklılığın 1000 tane ağırlığın etkisi üzerine bir eğilim tespit edilememiştir. Denemenin her iki yılında da 1000 tane ağırlık değerleri benzerlik göstermektedir. Araştırmanın 2022-2023 yılı vejetatif periyodu 1000 tane ağırlık değerlerinin ortalaması incelendiğinde arıtılmış atık su konusunda en yüksek değere sahip olan S1R3 uygulamasının S1R0 uygulamasına göre %14,07 daha yüksek olduğu saptanmış olup, temiz su konusunda ise en yüksek değere sahip olan S1R3 uygulamasının S1R0 uygulamasına göre %14,74 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 36 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının 1000 tane ağırlık üzerine etkileri arasında her iki yılda da istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde önemli bulunmamıştır. 1000 tane ağırlığı, tane büyüklüğünün bir göstergesi olup, hem tanelerin kalitesi hem de tohumluk olarak kullanılacak tanelerin performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte tanelerin içerdiği yağ ve protein oranlarının yanı sıra çimlenme, çıkış ve ilk büyüme süreçlerinde sergileyecekleri gücün bir göstergesi olarak düşünülmektedir.

Farklı araştırmacıların yaptığı çalışmalarda, 1000 tane ağırlıklarının 22,1-44,0 g arasında değiştiği görülmüştür (Polat 2007; Kılıç 2010; Deltalab *et al.* 2011; Rajabi *et al.* 2013; Mohammadi *et al.* 2015). Yazdani *et al.* (2019) tarafından arıtılmış atık su uygulamasının aspir çeşitlerine etkisi üzerine gerçekleştirilen çalışmada en yüksek 1000 tane ağırlığın arıtılmış atık su uygulamasında elde edildiği belirtilmiştir. Yazdani *et al.* (2018) ayçiçeğinin 1000 tane ağırlığında da benzer sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir. Rawashdeh (2017) farklı sulama seviyeleri altında (I1: %100, I2: 80 ve I3: 60) arıtılmış atık suyun ayçiçeği verimi üzerine bir çalışma yürütmüş olup, arıtılmış atık su ve su stresi konularının 1000 tane ağırlığı üzerine istatistiksel olarak önemli etkide bulunduğunu ifade etmiştir. En yüksek verim arıtılmış atık su ile sulanan tam sulama koşullarında elde edilmiş olup, I1 ve I2 konularında önemli bir fark gözlenmemiştir. Benzer şekilde Moradi *et al.* (2016) %100 atık su ile sulanan yulaf bitkilerinin, %100 kuyu suyu ile sulanan yulaf bitkilerine kıyasla 1000 tane ağırlığında %16,5 artış olduğunu belirtmişlerdir. Istanbuluoglu *et al.* (2009), Istanbuluoglu (2009) ve Omid *et al.* (2012), farklı gelişme dönemlerindeki su stresinin aspir bitkisinin 1000 tane ağırlığına etkisini değerlendirmek üzere yürüttükleri çalışmalarda; aspirin vejetatif dönemde strese maruz kalmasının olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Aspir bitkisinde en yüksek 1000 tane ağırlığı değerlerinin tam sulama koşullarında elde edildiği ifade edilmiştir (Öztürk vd 2009; Ebrahimian *et al.* 2019). Mohammadi *et al.* (2015), A sınıfı buharlaşma kabından okunan farklı değerlerden sonra gerçekleştirilen sulama uygulamalarında (I1, I2, I3, I4: A sınıfı tavadan sırasıyla 70, 100, 130 ve 160 mm buharlaştırmadan sonra sulama), en yüksek 1000 tane ağırlık değerini I2 konusunda elde etmiş olup, I3 ve I4 uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark olmadığını belirtmişlerdir. Lovelli *et al.* (2007), Shabani *et al.* (2013) ve Singh *et al.* (2016) ve farklı bitkilerde yaptıkları çalışmalarda, su stresinin 1000 tane ağırlığını istatistiksel olarak etkilemediğini bulmuşlardır. Sonuç olarak aspir bitkisi tohumculuk amacıyla üretilecek ise fazla miktarda sulama gerektirmediği ortaya çıkmaktadır.

Lack *et al.* (2013), tohuma bakteri aşılamanın 1000 tane ağırlığına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu bildirilmiştir. Ayrıca Saeidi *et al.* (2018) aspir bitkisine farklı dozlarda kimyasal gübre ile azot ve fosfor çözen bakteri uygulamalarının 1000 tane ağırlığı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada en yüksek 1000 tane ağırlığın kimyasal gübre ile azot ve fosfor çözen bakteri karışımlarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum *Azotobacter* ve *Bacillus sp.* bakterilerinin aktivite ve üremesi açısından kimyasal gübrelerin içerisinde bulunan elementlerin önemli olduğu, daha iyi besi ortamı sağladığı ifade edilmiştir. Benzer çalışmalarda, 1000 tane ağırlığı ile ilgili olarak, kimyasal gübre ve biyogübreli tohum aşılama ve aşılamaşız uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğu bildirilmiştir (Farnia and Moayed 2014; Nosheen and Bano 2014).

Protein oranı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama protein oranları Tablo 37’de; artırılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin protein oranına etkisi ise Tablo 38’de verilmiştir.

Tablo 37. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Protein Oranına Etkisi

		Sulama Seviyesi	Protein Oranı Ort±SH (%)				
			Bakteri Uygulamaları				
2022	Atık Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,03±0,1 eD	13,06±0,1 eC	14,11±0,2 eB	14,14±0,2 eA	13,33
		S1	13,55±0,1 aD	15,46±0,2 aC	16,86±0,1 aB	18,04±0,1 aA	15,97
		S2	13,21±0,3 bD	14,63±0,3 bC	15,14±0,2 bB	16,95±0,3 bA	14,98
		S3	12,92±0,2 cD	13,96±0,1 cC	14,73±0,3 cB	15,24±0,1 cA	14,21
		S4	12,55±0,1 dD	13,83±0,1 dC	14,23±0,1 dB	14,83±0,3 dA	13,86
	Ort.	12,85	14,19	15,01	15,84		
	Temiz Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,03±0,01 dD	13,06±0,02 dC	14,11±0,02 dB	14,14±0,02 eA	13,33
		S1	14,16±0,02 aD	14,93±0,02 aC	16,26±0,03 aB	16,33±0,03 aA	15,42
		S2	13,32±0,02 bD	14,26±0,04 bC	15,44±0,01 bB	15,56±0,01 bA	14,64
		S3	12,34±0,03 cD	13,16±0,03 cC	14,87±0,01 cB	15,43±0,02 cA	13,95
S4		12,01±0,02 dD	13,08±0,02 dC	14,14±0,01 dB	15,24±0,02 dA	13,61	
Ort.	12,77	13,69	14,96	15,34			
2023	Atık Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,12±0,1 eD	13,08±0,1 eC	14,06±0,2 eB	14,42±0,2 eA	13,42
		S1	13,69±0,1 aD	15,35±0,2 aC	16,41±0,1 aB	18,11±0,1 aA	15,89
		S2	13,38±0,3 bD	14,84±0,3 bC	15,02±0,2 bB	16,68±0,3 bA	14,91
		S3	12,78±0,2 cD	13,85±0,1 cC	14,85±0,3 cB	15,38±0,1 cA	14,22
		S4	12,33±0,1 dD	13,23±0,1 dC	14,33±0,1 dB	14,75±0,3 dA	13,66
	Ort.	12,81	14,07	14,93	15,87		
	Temiz Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,12±0,1 eD	13,08±0,1 eC	14,06±0,2 eB	14,42±0,2 eA	13,42
		S1	14,32±0,2 aD	15,05±0,2 aC	16,16±0,3 aB	16,48±0,3 aA	15,50
		S2	13,02±0,2 bD	14,68±0,4 bC	15,72±0,1 bB	15,99±0,1 bA	14,89
		S3	12,33±0,3 cD	13,82±0,3 cC	14,87±0,1 cB	15,48±0,2 cA	14,13
S4		12,05±0,2 dD	13,48±0,2 dC	14,32±0,1 dB	15,20±0,2 dA	13,77	
Ort.	12,80	14,02	15,03	15,51			
Ortalama	Atık Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,08±0,06 eD	13,07±0,01 eC	14,09±0,04 eB	14,28±0,2 eA	13,38
		S1	13,62±0,10 aD	15,41±0,08 aC	16,64±0,32 aB	18,08±0,05 aA	15,93
		S2	13,16±0,07 bD	14,74±0,15 bC	15,08±0,08 bB	16,82±0,19 bA	14,95
		S3	12,85±0,01 cD	13,91±0,08 cC	14,79±0,08 cB	15,31±0,10 cA	14,21
		S4	12,44±0,16 dD	13,53±0,42 dC	14,28±0,07 dB	14,79±0,06 dA	13,76
	Ort.	12,83	14,13	14,97	15,85		
	Temiz Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	12,08±0,06 dD	13,07±0,01 eC	14,09±0,04 eB	14,28±0,2 eA	13,38
		S1	14,24±0,11 aD	14,99±0,08 aC	16,21±0,07 aB	16,41±0,11 aA	15,46
		S2	13,25±0,10 bD	14,47±0,30 bC	15,58±0,20 bB	15,78±0,30 bA	14,77
		S3	12,34±0,01 cD	13,49±0,47 cC	14,87±0,01 cB	15,46±0,04 cA	14,04
S4		12,03±0,03 dD	13,28±0,28 dC	14,24±0,13 dB	15,22±0,03 dA	13,69	
Ort.	12,79	13,86	15,00	15,43			

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 38. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Protein Oranına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	13,55±0,01	15,46±0,02*	16,86±0,01*	18,04±0,01*
		Temiz Su	14,16±0,02*	14,93±0,02	16,26±0,03	16,33±0,03
	S2	Atık Su	13,21±0,03 ^{ns}	14,63±0,03*	15,14±0,02	16,95±0,03*
		Temiz Su	13,32±0,02	14,26±0,04	15,44±0,01*	15,56±0,01
	S3	Atık Su	12,92±0,02*	13,96±0,01*	14,73±0,03 ^{ns}	15,24±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	12,34±0,03	13,16±0,03	14,87±0,01	15,43±0,02
	S4	Atık Su	12,55±0,01*	13,83±0,01*	14,23±0,01 ^{ns}	14,83±0,03
		Temiz Su	12,01±0,02	13,08±0,02	14,14±0,01	15,24±0,02*
2023	S1	Atık Su	13,69±0,01	15,35±0,02*	16,41±0,01*	18,11±0,01*
		Temiz Su	14,32±0,02*	15,05±0,02	16,16±0,03	16,48±0,03
	S2	Atık Su	13,38±0,03*	14,84±0,03 ^{ns}	15,02±0,02	16,68±0,03*
		Temiz Su	13,02±0,02	14,68±0,04	15,72±0,01*	15,99±0,01
	S3	Atık Su	12,78±0,02*	13,85±0,01 ^{ns}	14,85±0,03 ^{ns}	15,38±0,01 ^{ns}
		Temiz Su	12,33±0,03	13,82±0,03	14,87±0,01	15,48±0,02
	S4	Atık Su	12,33±0,01*	13,23±0,01 ^{ns}	14,33±0,01 ^{ns}	14,75±0,03 ^{ns}
		Temiz Su	12,05±0,02	13,48±0,02	14,32±0,01	15,20±0,02*
Ortalama	S1	Atık Su	13,62±0,10	15,41±0,08*	16,64±0,32*	18,08±0,05*
		Temiz Su	14,24±0,11*	14,99±0,08	16,21±0,07	16,41±0,11
	S2	Atık Su	13,16±0,07 ^{ns}	14,74±0,15*	15,08±0,08	16,82±0,19*
		Temiz Su	13,25±0,10	14,47±0,30	15,58±0,20*	15,78±0,30
	S3	Atık Su	12,85±0,01*	13,91±0,08*	14,79±0,08 ^{ns}	15,31±0,10 ^{ns}
		Temiz Su	12,34±0,01	13,49±0,47	14,87±0,01	15,46±0,04
	S4	Atık Su	12,44±0,16*	13,53±0,42*	14,28±0,07 ^{ns}	14,79±0,06
		Temiz Su	12,03±0,03	13,28±0,28	14,24±0,13	15,22±0,03*

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 37'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının protein oranları üzerine etkisi p<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Deneme de ilk yıl protein değeri %12,03 ile %18,04, ikinci yıl ise %12,12 ile %18,11 arasında değişmiştir. Denemenin her iki yılında da ölçülen protein oranı değerleri benzerlik göstermektedir. Çalışmada en yüksek protein değeri her iki yılda da arıtılmış atık su uygulamasının S1R3 konusunda %18,06 ve %18,11, en düşük ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda %12,03 ve %12,12 olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre sulama suyu ve bakteri uygulama sayısı arttıkça, protein değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulama konuları grupsal olarak incelendiğinde istatistiksel olarak aralarında anlamlı bir farklılık belirlenmiştir.

Tablo 38 irdelendiğinde ilk yıl arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının protein oranı değerleri üzerine etkileri S2R0, S3R2, S3R3 ve S4R3 dışında istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde anlamlı, ikinci yıl ise S2R1, S3R1, S3R2, S3R3, S4R1 ve S4R2 dışında istatistiksel olarak p<0.05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Araştırmanın ilk yılı S1R0, S2R0, S2R2, S3R2, S3R3 ve S4R3, ikinci yıl ise S1R0, S2R2 ve S4R3 konuları dışında arıtılmış atık su

uygulamaları protein oranı üzerine etkisi temiz suya göre benzer veya daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın her iki yılında da en yüksek değere sahip olan S1R3 konusunun arıtılmış atık su uygulaması, temiz suya göre ilk yıl %10,40, ikinci yıl ise %9,89 daha yüksek saptanmıştır. Nosheen *et al.* (2016) ve Saeidi *et al.* (2018), kimyasal gübreler ile birlikte PGPR uygulanmasıyla aspir tohumunun protein oranını önemli düzeyde artırdığını bildirmişlerdir. Khademian *et al.* (2019) ve Mondani *et al.* (2019), su stresi altında PGPR uygulamasının aspir bitkisinin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmada su stresinin bitkide protein değerlerini olumsuz etkilediği belirtilirken; *Azotobacter* + *Azospirillum* gibi biyolojik gübrelerin uygulanmasının protein miktarını olumlu yönde iyileştirdiği bildirilmiştir. Alharbi *et al.* (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, su stresi koşulları altında soya fasulyesinin protein miktarını en üst düzeye çıkarmak için PGPM'lerin ve K-humatin birlikte uygulanmasının önerildiği ifade edilmiştir. GhassemiSahebi *et al.* (2020), arıtılmış atık suyun calsic-zeolit toprak iyileştiricileri ile birlikte kullanılmasının, bitki proteini üzerinde en iyi etkiye sahip olan kombinasyon olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada en yüksek protein değeri arıtılmış atık su ile elde edildiği belirtilmiştir. Diğer bir çalışma atık su uygulamasıyla sorgumda önemli bir protein artışı olduğunu göstermiştir (Ghanbari *et al.* 2007). Çakmakçı (2018), farklı sulama seviyelerinin ve arıtılmış atık su uygulamalarının mısır bitkisinde protein oranı değerleri üzerine etkisini istatistiksel olarak önemli bulduğunu belirtmiştir. Hashem *et al.* (2022), çalışmasında su stresinin artıkça domates bitkisinin protein değerlerinin düştüğünü belirtmiştir. Al-Khamisi *et al.* (2011), mısırdaki yapılan çalışmada atık su kullanımının (%12,08) protein oranlarını temiz suya (%10,64) göre artırdığını ifade etmiştir. Atık sudaki besin elementlerinin varlığı, azot alımının artmasında önemli bir role sahip olabilmektedir. Muhtemelen, mikro besinlerin varlığı daha fazla nitrojen alımına neden olur ve sonunda protein üretimini artırabilmektedir (Day and Tucker 1977; Jacobs *et al.* 1998; Marschner 2011; Quemada *et al.* 2016).

Yağ oranı

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait yağ oranları Tablo 39'da; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin yağ oranına etkisi ise Tablo 40'da verilmiştir.

Tablo 39. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Yağ Oranı Değerlerine Etkisi

		Sulama Seviyesi	Yağ Oranı Ort±SH (%)				Ort.
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	25,85±0,16 eD	27,03±0,12 eC	28,05±0,13 eB	29,02±0,13 eA	27,48
		S1	33,23±0,11 aD	35,36±0,15 aC	36,20±0,14 aB	38,61±0,15 aA	35,85
		S2	31,42±0,12 bD	33,10±0,14 bC	34,26±0,14 bB	36,52±0,16 bA	33,82
		S3	29,36±0,15 cD	31,92±0,10 cC	33,30±0,13 cB	34,69±0,12 cA	32,31
		S4	27,25±0,13 dD	29,05±0,11 dC	31,85±0,12 dB	33,12±0,11 dA	30,31
		Ort.	29,24	31,29	32,73	34,39	
	Temiz Su	S0	25,85±0,16 eD	27,03±0,12 eC	28,05±0,13 eB	29,02±0,13 eA	27,48
		S1	32,25±0,14 aD	34,28±0,12 aC	35,13±0,12 aB	36,11±0,13 aA	34,44
		S2	30,22±0,14 bD	32,05±0,10 bC	33,16±0,15 bB	33,52±0,12 bA	32,23
		S3	28,45±0,11 cD	30,72±0,10 cC	31,25±0,15 cB	32,26±0,12 cA	30,67
		S4	26,33±0,10 dD	28,08±0,11 dC	30,25±0,13 dB	31,03±0,16 dA	28,92
		Ort.	28,62	30,43	31,56	32,38	
2023	Atık Su	S0	25,15±0,10 eD	27,18±0,23 eC	28,25±0,34 eB	29,02±0,13 eA	27,40
		S1	33,03±0,28 aD	35,67±0,33 aC	36,14±0,21 aB	38,33±0,15 aA	35,79
		S2	31,82±0,33 bD	33,18±0,41 bC	34,16±0,14 bB	36,75±0,16 bA	33,98
		S3	29,16±0,39 cD	31,52±0,25 cC	33,20±0,18 cB	34,29±0,12 cA	32,04
		S4	27,29±0,16 dD	29,14±0,16 dC	31,65±0,13 dB	33,02±0,11 dA	30,28
		Ort.	29,29	31,34	32,68	34,28	
	Temiz Su	S0	25,15±0,10 eD	27,18±0,23 eC	28,25±0,34 eB	29,02±0,36 eA	27,40
		S1	32,13±0,16 aD	34,12±0,18 aC	35,24±0,22 aB	36,56±0,14 aA	34,51
		S2	30,45±0,12 bD	32,08±0,32 bC	33,36±0,24 bB	34,02±0,12 bA	32,48
		S3	28,10±0,21 cD	30,19±0,36 cC	31,13±0,39 cB	32,45±0,28 cA	30,47
		S4	26,63±0,14 dD	28,26±0,41 dC	30,51±0,11 dB	31,33±0,43 dA	27,40
		Ort.	28,96	30,89	32,00	33,01	
Ortalama	Atık Su	S0	25,50±0,49 eD	27,11±0,11 eC	28,15±0,14 eB	29,02±0,01 eA	27,44
		S1	33,13±0,14 aD	35,52±0,22 aC	36,17±0,04 aB	38,47±0,20 aA	35,82
		S2	31,62±0,28 bD	33,14±0,06 bC	34,21±0,07 bB	36,64±0,16 bA	33,90
		S3	29,26±0,14 cD	31,72±0,28 cC	33,25±0,07 cB	34,49±0,28 cA	32,18
		S4	27,27±0,03 dD	29,10±0,06 dC	31,75±0,14 dB	33,07±0,07 dA	30,30
		Ort.	29,36	31,32	32,71	34,34	
	Temiz Su	S0	25,50±0,49 eD	27,11±0,11 eC	28,15±0,14 eB	29,02±0,01 eA	27,44
		S1	32,19±0,08 aD	34,20±0,11 aC	35,19±0,08 aB	36,34±0,32 aA	34,48
		S2	30,34±0,16 bD	32,07±0,02 bC	33,26±0,14 bB	33,77±0,35 bA	32,36
		S3	28,28±0,25 cD	30,46±0,37 cC	31,19±0,08 cB	32,36±0,13 cA	30,57
		S4	26,48±0,21 dD	28,17±0,13 dC	30,38±0,18 dB	31,18±0,21 dA	29,05
		Ort.	28,56	30,40	31,63	32,53	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 40. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Yağ Oranına Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	33.23±0.11*	35.36±0.15*	36.20±0.14*	38.61±0.15*
		Temiz Su	32.25±0.14	34.28±0.12	35.13±0.12	36.11±0.13
	S2	Atık Su	31.42±0.12*	33.10±0.14*	34.26±0.14*	36.52±0.16*
		Temiz Su	30.22±0.14	32.05±0.10	33.16±0.15	33.52±0.12
	S3	Atık Su	29.36±0.15*	31.92±0.10*	33.30±0.13*	34.69±0.12*
		Temiz Su	28.45±0.11	30.72±0.10	31.25±0.15	32.26±0.12
	S4	Atık Su	27.25±0.13*	29.05±0.11*	31.85±0.12*	33.12±0.11*
		Temiz Su	26.33±0.10	28.08±0.11	30.25±0.13	31.03±0.16
2023	S1	Atık Su	33.03±0.28*	35.67±0.33*	36.14±0.21*	38.33±0.15*
		Temiz Su	32.13±0.16	34.12±0.18	35.24±0.22	36.56±0.14
	S2	Atık Su	31.82±0.33*	33.18±0.41*	34.16±0.14*	36.75±0.16*
		Temiz Su	30.45±0.12	32.08±0.32	33.36±0.24	34.02±0.12
	S3	Atık Su	29.16±0.39*	31.52±0.25*	33.20±0.18*	34.29±0.12*
		Temiz Su	28.10±0.21	30.19±0.36	31.13±0.39	32.45±0.28
	S4	Atık Su	27.29±0.16*	29.14±0.16*	31.65±0.13*	33.02±0.11*
		Temiz Su	26.63±0.14	28.26±0.41	30.51±0.11	31.33±0.43
Ortalama	S1	Atık Su	33.13±0.14*	35.52±0.22*	36.17±0.04*	38.47±0.20*
		Temiz Su	32.19±0.08	34.20±0.11	35.19±0.08	36.34±0.32
	S2	Atık Su	31.62±0.28*	33.14±0.06*	34.21±0.07*	36.64±0.16*
		Temiz Su	30.34±0.16	32.07±0.02	33.26±0.14	33.77±0.35
	S3	Atık Su	29.26±0.14*	31.72±0.28*	33.25±0.07*	34.49±0.28*
		Temiz Su	28.28±0.25	30.46±0.37	31.19±0.08	32.36±0.13
	S4	Atık Su	27.27±0.03*	29.10±0.06*	31.75±0.14*	33.07±0.07*
		Temiz Su	26.48±0.21	28.17±0.13	30.38±0.18	31.18±0.21

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 39'a göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının yağ oranları üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Denemede ilk yıl yağ oranı değeri %25,85 ile %38,61, ikinci yıl ise %25,15 ile %33,33 arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada her iki yıl için en yüksek yağ oranı değeri arıtılmış atık su uygulamasının S1R3 konusunda, en düşük ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda belirlenmiştir. Araştırmanın 2022-2023 yılı vejetatif periyodu yağ oranları değerlerinin ortalaması incelendiğinde arıtılmış atık su konusunda en yüksek değere sahip olan S1R3 uygulamasının S0R0 uygulamasına göre %50,80 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmada sulama suyu ve bakteri uygulama miktarı artmasıyla yağ oranlarının arttığı belirlenmiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulama konuları grupsal olarak incelendiğinde istatistiksel olarak aralarında anlamlı bir farklılık belirlenmiştir.

Tablo 40 irdelendiğinde her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının yağ oranı değerleri üzerine etkileri arasında istatistiksel olarak $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda yağ oranını artırdığı görülmektedir. En yüksek yağ oranına sahip S1R3 konusu incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulamasına göre yağ oranını ilk yıl

%6,92 ve ikinci yıl %4,84 artırdığı hesaplanmıştır. Farklı araştırmacılar aspir bitkisinde yağ oranlarını %20,30 ile %35,28 arasında belirlemiştir (Polat 2007; Ebrahimian *et al.* 2019; İçen 2019). Singh *et al.* (2016) tarafından, yapılan iki yıllık araştırmada sulama uygulamaları ve aspir çeşitlerinin yağ verimi üzerindeki etkileri her iki yılda da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Her iki yılda da en yüksek yağ verimi tam sulama uygulamasında gözlenmiştir. Çalışmada çiçeklenme sonrası ve vejetatif dönemde su stresi konuları, tam sulama konusu ile karşılaştırıldığında, sırasıyla %27 ve %25 sulama suyu tasarrufuna rağmen, yağ veriminde %17 ve %23 azalmaya neden olmuştur. İkinci yıl ise %29 ve %25 sulama suyu tasarrufu sağlanırken, yağ verimi azalmasının, sırasıyla %21 ve %22 olduğu belirtilmiştir. Ebrahimian *et al.* (2019) tarafından su stresinin aspir bitkisine etkisi üzerine yapılan çalışmada, en yüksek yağ verimi evapotranspirasyonun %100 ve %80'ine eşit sulama konularında, en düşük yağ veriminin ise %40 konusunda kaydedildiği bildirilmiştir. Öztürk vd (2009) tarafından sulu ve kuru koşullarda aspir bitkisi yetiştiriciliği üzerine gerçekleştirilen çalışmada, sulu koşullarda yağ oranının %32,7, kuru koşullarda ise %28,3 olarak hesaplandığı bildirilmiştir.

Ekin (2020), PGPR aşılama uygulamalarının aspir bitkisinin morfolojik performansı, verimi ve tohum kalitesine etkilerini değerlendirmek amacıyla yaptığı çalışmada; yağ oranlarını, bakteri uygulanmayan konuda %30,73, OSU142 suşu konusunda ise %32,93 bulmuştur. Saeidi *et al.* (2018) tarafından, farklı çeşit ve oranlarda gübre ve bakteri uygulamalarının aspir bitkisi kalitesine etkisinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada en yüksek yağ içeriği %30 kimyasal gübre + biyolojik gübre konusunda belirlenmiştir. Nosheen and Bano (2014) ve Sharifi *et al.* (2017), benzer şekilde yürüttükleri çalışmalar incelendiğinde, en düşük yağ oranlarının bakteri uygulanmayan konularda gerçekleştiği bildirilmiştir. Arıtılmış atık suyun ayçiçeği tohumlarının bileşenleri üzerine yürütülen çalışmada şebeke suyu, birincil arıtılmış atık su ve ikincil arıtılmış atık su uygulamalarında yağ oranları sırasıyla %39,59, %43,75 ve %41,18 olduğu belirtilmiştir (Safi-Naz and Shaaban 2015). Manas *et al.* (2017) yaptıkları araştırmada şebeke suyu ve arıtılmış atık su uygulamalarının ayçiçeği bitkisindeki yağ oranlarını sırasıyla %19,42 ve %27,92 olarak bildirmiştir. Tarafımızdan yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular, yukarıda sıralanan araştırmalar ile uyumludur.

Tohum verimi

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait tohum verimi Tablo 41'de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin tohum verimine etkisi ise Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 41. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Tohum Verimine Etkisi

		Sulama Seviyesi	Tohum Verimi Ort±SH (kg/da)				
			Bakteri Uygulamaları				
			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	104,11±0,14 dC	108,12±0,21 dB	113,15±0,30 eA	114,11±0,19 eA	109,85
		S1	170,12±0,22 aC	172,12±0,33 aB	173,09±0,44 aA	173,10±0,34 aA	172,07
		S2	164,16±0,18 bC	166,95±0,19 bB	168,54±0,26 bA	169,94±0,25 bA	167,40
		S3	148,63±0,16 cC	150,06±0,41 cB	152,11±0,12 cA	155,05±0,29 cA	151,45
		S4	145,38±0,22 cC	148,47±0,25 cB	149,88±0,47 dA	150,71±0,23 dA	148,60
		Ort.	147,23	149,11	151,35	152,58	
	Temiz Su	S0	104,11±0,17 eD	108,12±0,27 eC	113,15±0,33 eB	114,11±0,10 eA	109,85
		S1	158,08±0,24 aD	160,92±0,14 aC	162,79±0,16 aB	165,73±0,22 aA	161,88
		S2	152,10±0,18 bD	154,05±0,36 bC	155,03±0,48 bB	156,03±0,24 bA	154,30
		S3	146,05±0,26 cD	148,03±0,49 cC	149,03±0,34 cB	150,01±0,28 cA	148,28
		S4	138,03±0,33 dD	139,01±0,18 dC	142,01±0,12 dB	144,01±0,10 dA	140,76
		Ort.	139,67	142,02	144,39	145,97	
2023	Atık Su	S0	116,21±0,21 eC	122,69±0,12 eB	130,24±0,36 eA	128,20±0,47 eA	124,34
		S1	165,14±0,35 aC	168,25±0,17 aB	170,14±0,42 aA	170,33±0,33 aA	168,47
		S2	159,87±0,26 bC	161,39±0,38 bB	164,89±0,56 bA	166,66±0,22 bA	163,20
		S3	144,59±0,41 cC	146,36±0,86 cB	149,36±0,86 cA	149,50±0,48 cA	147,45
		S4	140,53±0,58 dC	142,28±0,16 dB	146,96±0,59 dA	146,88±0,33 dA	144,16
		Ort.	145,27	148,19	152,32	152,31	
	Temiz Su	S0	116,21±0,21 eC	122,69±0,12 eB	130,24±0,36 eA	128,20±0,47 eA	124,34
		S1	151,58±0,55 aC	155,63±0,29 aB	158,32±0,49 aA	158,30±0,41 aA	155,96
		S2	145,59±0,62 bC	148,95±0,51 bB	152,14±0,23 bA	153,66±0,12 bA	150,09
		S3	131,31±0,88 cD	134,14±0,42 cC	137,17±0,26 cB	139,91±0,36 cA	135,63
		S4	126,17±,043 dC	129,48±0,18 dB	133,87±0,71 dA	132,74±0,35 dA	130,57
		Ort.	134,17	138,18	142,35	142,56	
Ortalama	Atık Su	S0	110,16±3,86 eC	115,41±3,30 eB	121,70±3,08 eA	121,16±3,96 eA	117,10
		S1	167,63±3,52 aC	170,19±2,74 aB	171,62±2,09 aA	171,72±1,98 aA	170,29
		S2	162,02±3,03 bD	164,17±3,93 bC	166,72±2,58 bB	168,30±2,32 bA	165,30
		S3	146,61±2,86 cD	148,21±2,62 cC	150,74±1,94 cB	152,28±3,92 cA	149,46
		S4	142,96±3,43 dC	145,38±4,38 dB	148,42±2,06 dA	148,80±2,71 dA	146,39
		Ort.	145,87	148,67	151,84	152,45	
	Temiz Su	S0	110,16±3,86 eC	115,41±3,30 eB	121,70±3,08 eA	121,16±3,96 eA	117,10
		S1	154,83±4,60 aD	158,28±3,74 aC	160,56±3,16 aB	162,02±3,25 aA	158,92
		S2	148,85±4,40 bC	151,50±3,61 bB	153,59±2,04 bA	154,85±1,68 bA	152,19
		S3	138,66±3,39 cC	141,09±3,82 cB	143,10±3,39 cA	144,96±3,14 cA	141,95
		S4	132,10±3,39 dC	134,25±3,74 dB	137,94±3,76 dA	138,38±3,97 dA	135,67
		Ort.	136,92	140,10	143,38	144,27	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 42. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Tohum Verimine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	170,12±0,02*	172,12±0,03*	173,09±0,04*	173,10±0,03*
		Temiz Su	158,08±0,02	160,92±0,01	162,79±0,01	165,73±0,02
	S2	Atık Su	164,16±0,01*	166,95±0,01*	168,54±0,02*	169,94±0,02*
		Temiz Su	152,10±0,01	154,05±0,03	155,03±0,04	156,03±0,02
	S3	Atık Su	148,63±0,01*	150,06±0,04*	152,11±0,01*	155,05±0,02*
		Temiz Su	146,05±0,02	148,03±0,04	149,03±0,03	150,01±0,02
	S4	Atık Su	145,38±0,02*	148,47±0,02*	149,88±0,04*	150,71±0,02*
		Temiz Su	138,03±0,03	139,01±0,01	142,01±0,01	144,01±0,01
2023	S1	Atık Su	165,14±0,35*	168,25±0,17*	170,14±0,42*	170,33±0,33*
		Temiz Su	151,58±0,55	155,63±0,29	158,32±0,49	158,30±0,41
	S2	Atık Su	159,87±0,26*	161,39±0,38*	164,89±0,56*	166,66±0,22*
		Temiz Su	145,59±0,62	148,95±0,51	152,14±0,23	153,66±0,12
	S3	Atık Su	144,59±0,41*	146,36±0,86*	149,36±0,86*	149,50±0,48*
		Temiz Su	131,31±0,88	134,14±0,42	137,17±0,26	139,91±0,36
	S4	Atık Su	140,53±0,58*	142,28±0,16*	146,96±0,59*	146,88±0,33*
		Temiz Su	126,17±0,043	129,48±0,18	133,87±0,71	132,74±0,35
Ortalama	S1	Atık Su	167,63±3,52*	170,19±2,74*	171,62±2,09*	171,72±1,98*
		Temiz Su	154,83±4,60	158,28±3,74	160,56±3,16	162,02±3,25
	S2	Atık Su	162,02±3,03*	164,17±3,93*	166,72±2,58*	168,30±2,32*
		Temiz Su	148,85±4,40	151,50±3,61	153,59±2,04	154,85±1,68
	S3	Atık Su	146,61±2,86*	148,21±2,62*	150,74±1,94*	152,28±3,92*
		Temiz Su	138,66±3,39	141,09±3,82	143,10±3,39	144,96±3,14
	S4	Atık Su	142,96±3,43*	145,38±4,38*	148,42±2,06*	148,80±2,71*
		Temiz Su	132,10±3,39	134,25±3,74	137,94±3,76	138,38±3,97

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Tablo 41'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının tohum verimi üzerine etkisi $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Her iki yılda da tohum verimi üzerine elde edilen veriler irdelendiğinde sulama suyu miktarı ve bakteri uygulama sayısının artmasıyla tohum veriminin arttığı belirlenmiştir. Araştırmada R2 ve R3 konusu uygulamaları değerlerinin birbirine benzer olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın ilk yıl tohum verimi 104,11 ile 173,10 kg/da, ikinci yılında ise 116,21 ile 170,33 kg/da arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki yılda da en yüksek tohum verimi S1R3 uygulamasında olup, en düşük tohum verimi ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda bulunmuştur. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulama konuları grupsal olarak incelendiğinde istatistiksel olarak aralarında anlamlı bir farklılık belirlenmiştir.

Tablo 42 irdelendiğinde her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının tohum verimi üzerine etkileri arasında istatistiksel olarak $p\leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz suya göre tüm konularda tohum verimini artırdığı görülmektedir. En yüksek tohum verimine sahip S1R3 konusu incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamasının, temiz su uygulamasına göre tohum

verimini ilk yıl %4,45, ikinci yıl ise %7,59 artırdığı hesaplanmıştır. Tohum verimini Polat (2007), 73,96-141,66 kg/da arasında, Süer (2011) 181,10-254,10 kg/da arasında, Şeker (2019) 124,44-292,78 kg/da arasında, Aydın (2012) ise 79.77-248.26 kg/da arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu değerler tarafımızdan yapılan çalışmada elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir. Yazdani *et al.* (2018) arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz su uygulamalarına göre tohum verimini %10,7 artırdığını bildirmişlerdir. İçreğindeki besin maddelerinin varlığından dolayı arıtılmış atık suyun temiz su uygulamalarına göre tohum verimini artırdığı düşünülmektedir (Safi-naz and Shaaban 2015; Rawashdeh 2017; Yazdani *et al.* 2019).

Singh *et al.* (2016) yaptıkları çalışmada tam sulama uygulamasının su kısıtı uygulamasına göre tohum verimini artırdığını belirtmişlerdir. Shahrokhnia and Sepaskhah (2017) kısmi kök kuruluğu koşullarında yetiştirilen aspir bitkisinde su stresinin tohum verimini olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. Tarafımızdan yapılan çalışmaya uygun olarak farklı araştırmacılar su stresi uygulamalarının tohum verimini azalttığını bildirmişlerdir (Pasban *et al.* 2010; Karim *et al.* 2017; Ozer *et al.* 2020; Yeloojeh *et al.* 2020; Saad *et al.* 2023) Verim düşüşleri kuraklık stresinin uygulandığı fenolojik stresin dönemine ve kuraklık derecesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda kuraklık stresi, aspir bitkisinin ekonomik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Lack *et al.* (2013) PGPB uygulamalarının tohum verimini istatistiksel olarak önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde *Azotobacter*, *Azospirillum* ve *Pseudomonas* bakteri kombinasyonun aşılmasında en yüksek tohum veriminin elde edildiği belirtilmiştir (Mirzakhani *et al.* 2009). Saeidi *et al.* (2018) aspir bitkisinde en yüksek tohum veriminin %60 kimyasal gübre + biyogübreleme konusundan elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda PGPB uygulamalarının sadece tohum verimini artırmakta kalmayıp aynı zamanda kimyasal gübre kullanımından da tasarruf sağlayabileceği fikri ön görülmektedir (Mirzaei and Vazan 2013; Raei *et al.* 2017). Khademian *et al.* (2019), su stresi artıkça aspir bitkisinin tohum veriminde azalış gözlemlendiğini, *Azotobacter* + *Azospirillum* uygulamalarının tohum veriminde olumlu yönde iyileştirmelere neden olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer birçok çalışma PGPR uygulamasının tohum veriminde istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olduğunu göstermiştir (Nosheen and Bano 2014; Seyedsharifi and Khorramdel 2015; Ekin 2020). Öztürk vd (2009), aspir bitkisinde en yüksek tohum veriminin yağışa dayalı konuya göre sulamalı koşullarda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Yağ verimi

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait yağ verimi Tablo 43’de; artırılmış atık su ve temiz suyun aspir bitkisinin yağ verimine etkisi ise Tablo 44’da verilmiştir.

Tablo 43. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Yağ Verimine Etkisi

		Sulama Seviyesi	Yağ Verimi Ort±SH (kg/da)				
			Bakteri Uygulamaları				
2022	Atık Su	R0	R1	R2	R3	Ort.	
		S0	26,91±0,36 eD	29,22±0,12 eC	31,73±0,23 eB	33,14±0,18 eA	30,24
		S1	56,53±0,15 aD	60,86±0,31 aC	62,65±0,20 aB	66,83±0,13 aA	61,72
		S2	51,57±0,14 bD	55,26±0,11 bC	57,74±0,10 bB	62,06±0,12 bA	56,66
		S3	43,63±0,24 cD	47,89±0,30 cC	50,65±0,29 cB	53,78±0,28 cA	48,99
		S4	39,61±0,11 dD	43,13±0,17 dC	47,73±0,26 dB	49,91±0,18 dA	45,09
	Ort.	43,65	47,27	50,10	53,14		
	Temiz Su	S0	26,91±0,36 eD	29,22±0,12 eC	31,73±0,23 eB	33,14±0,18 eA	30,24
		S1	50,98±0,25 aD	55,11±0,14 aC	57,18±0,18 aB	59,84±0,30 aA	55,78
		S2	45,96±0,26 bD	49,34±0,29 bC	51,40±0,11 bB	52,30±0,13 bA	49,76
		S3	41,55±0,30 cD	45,47±0,10 cC	46,57±0,19 cB	48,39±0,20 cA	45,49
		S4	36,34±0,22 dD	39,03±0,23 dC	42,95±0,25 dB	44,68±0,21 dA	40,75
Ort.		40,35	43,63	45,96	47,67		
2023	Atık Su	S0	29,23±0,23 eD	33,5±0,16 eC	36,79±0,36 eB	37,20±0,15 eA	34,18
		S1	54,55±0,16 aD	60,01±0,26 aC	61,49±0,25 aB	65,29±0,32 aA	60,34
		S2	50,87±0,28 bD	53,55±0,18 bC	56,33±0,41 bB	61,25±0,38 bA	55,50
		S3	42,16±0,14 cD	46,13±0,33 cC	49,59±0,13 cB	51,26±0,19 cA	47,29
		S4	38,35±0,22 dD	41,46±0,11 dC	46,51±0,17 dB	48,59±0,12 dA	43,71
		Ort.	43,03	46,93	50,14	52,70	
	Temiz Su	S0	29,23±0,23 eD	33,5±0,16 eC	36,79±0,36 eB	37,20±0,15 eA	34,18
		S1	48,70±0,19 aD	53,10±0,28 aC	55,79±0,42 aB	57,87±0,18 aA	53,87
		S2	44,33±0,33 bD	47,78±0,11 bC	50,75±0,38 bB	52,28±0,21 bA	48,79
		S3	36,90±0,41 cD	40,50±0,14 cC	42,70±0,27 cB	45,40±0,17 cA	41,38
		S4	33,60±0,10 dD	36,59±0,35 dC	40,84±0,16 dB	41,59±0,26 dA	38,16
		Ort.	38,55	42,29	45,37	46,87	
Ortalama	Atık Su	S0	28,07±1,64 eD	31,36±3,03 eC	34,26±3,58 eB	35,17±2,87 eA	32,22
		S1	55,54±1,40 aD	60,44±0,60 aC	62,07±0,82 aB	66,06±1,09 aA	61,03
		S2	51,22±0,49 bD	54,41±1,21 bC	57,04±1,01 bB	61,66±0,57 bA	56,08
		S3	42,90±1,04 cD	47,01±1,24 cC	50,12±0,75 cB	52,52±1,78 cA	48,14
		S4	38,98±0,89 dD	42,30±1,18 dC	47,12±0,86 dB	49,21±1,01 dA	44,40
		Ort.	43,34	47,10	50,12	52,92	
	Temiz Su	S0	28,07±1,64 eD	31,36±3,03 eC	34,26±3,58 eB	35,17±2,87 eA	32,22
		S1	49,84±1,61 aD	54,11±1,42 aC	56,49±0,98 aB	58,86±1,39 aA	54,82
		S2	45,15±1,15 bD	48,56±1,10 bC	51,08±0,46 bB	52,29±0,01 bA	49,27
		S3	39,23±3,29 cD	42,99±3,51 cC	44,64±2,74 cB	46,90±2,11 cA	43,44
		S4	34,97±1,94 dD	37,81±1,73 dC	41,90±1,49 dB	43,14±2,18 dA	39,45
		Ort.	39,45	42,96	45,67	47,27	

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 44. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Yağ Verimine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	56,53±0,15*	60,86±0,31*	62,65±0,20*	66,83±0,13*
		Temiz Su	50,98±0,25	55,11±0,14	57,18±0,18	59,84±0,30
	S2	Atık Su	51,57±0,14*	55,26±0,11*	57,74±0,10*	62,06±0,12*
		Temiz Su	45,96±0,26	49,34±0,29	51,40±0,11	52,30±0,13
	S3	Atık Su	43,63±0,24*	47,89±0,30*	50,65±0,29*	53,78±0,28*
		Temiz Su	41,55±0,30	45,47±0,10	46,57±0,19	48,39±0,20
	S4	Atık Su	39,61±0,11*	43,13±0,17*	47,73±0,26*	49,91±0,18*
		Temiz Su	36,34±0,22	39,03±0,23	42,95±0,25	44,68±0,21
2023	S1	Atık Su	54,55±0,16*	60,01±0,26*	61,49±0,25*	65,29±0,32*
		Temiz Su	48,70±0,19	53,10±0,28	55,79±0,42	57,87±0,18
	S2	Atık Su	50,87±0,28*	53,55±0,18*	56,33±0,41*	61,25±0,38*
		Temiz Su	44,33±0,33	47,78±0,11	50,75±0,38	52,28±0,21
	S3	Atık Su	42,16±0,14*	46,13±0,33*	49,59±0,13*	51,26±0,19*
		Temiz Su	36,90±0,41	40,50±0,14	42,70±0,27	45,40±0,17
	S4	Atık Su	38,35±0,22*	41,46±0,11*	46,51±0,17*	48,59±0,12*
		Temiz Su	33,60±0,10	36,59±0,35	40,84±0,16	41,59±0,26
Ortalama	S1	Atık Su	55,54±1,40*	60,44±0,60*	62,07±0,82*	66,06±1,09*
		Temiz Su	49,84±1,61	54,11±1,42	56,49±0,98	58,86±1,39
	S2	Atık Su	51,22±0,49*	54,41±1,21*	57,04±1,01*	61,66±0,57*
		Temiz Su	45,15±1,15	48,56±1,10	51,08±0,46	52,29±0,01
	S3	Atık Su	42,90±1,04*	47,01±1,24*	50,12±0,75*	52,52±1,78*
		Temiz Su	39,23±3,29	42,99±3,51	44,64±2,74	46,90±2,11
	S4	Atık Su	38,98±0,89*	42,30±1,18*	47,12±0,86*	49,21±1,01*
		Temiz Su	34,97±1,94	37,81±1,73	41,90±1,49	43,14±2,18

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 43'e göre 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerler açısından, arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ile bakteri uygulama sayısının yağ verimi üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Deneme de ilk yıl yıl yağ verim değerleri 26,91 ile 66,83 kg/da, ikinci yıl ise 29,23 ile 65,29 kg/da arasında değişmiştir. Denemenin her iki yıl içerisinde gerçekleştirilen yağ verimi değerleri benzerlik göstermektedir. Çalışmada en yüksek yağ verimi değerleri 2022 ve 2023 yılı için arıtılmış atık su uygulamasının S1R3 konusunda sırasıyla 66,83 kg/da ve 65,29 kg/da, en düşük ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda 26,91 kg/da ve 29,23 kg/da olarak belirlenmiştir. Çalışmada sulama seviyesi miktarı ve bakteri uygulamaları arttıkça yağ veriminde artış olduğu gözlenmiştir. Arıtılmış atık su ve temiz su koşullarında farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulama konuları grupsal olarak incelendiğinde istatistiksel olarak aralarında anlamlı bir farklılık belirlenmiştir.

Tablo 44 irdelendiğinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının yağ verimi üzerine etkileri istatistiksel olarak $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda yağ verimini artırdığı görülmektedir. Araştırmada en yüksek yağ verimine sahip S1R3 konusu, en düşük yağ verimine sahip S0R0 konusuna göre ilk yıl %11,68, ikinci yıl ise %12,82 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Farklı araştırmacıların

yaptığı çalışmalarda sulama suyu seviyesi ve bakteri uygulamaları artıkça yağ verimlerinin arttığı bildirilmiştir (Lack *et al.* 2013; Safi-naz and Shaaban 2015; Singh *et al.* 2016; Saeidi *et al.* 2018; Ebrahimian *et al.* 2019; Yazdani *et al.* 2019).

Bitki Makro- Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri

Ağır metaller; bitki, hayvan ve insanları da içine alan tüm canlı organizmalar için hem yaşamsal faaliyetlerin yürütülmesinde görev almaları hem de canlı bünyesindeki varlıklarının gerek eksikliğinin gerekse aşırı dozlarının olumlu ve olumsuz etkiler yapması nedeniyle önem taşımaktadır.

Ortalamlarda ve oradan geçtikleri canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu elementler etkili dozlarda bulunduklarında ciddi hastalık, hatta ölümlere yol açabilen zehirli maddelerdir. Eser miktarda bile zehir etkisi yapabilen bu metaller arasında en önemli grubu; Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, Zn, Cd, Fe, Cu gibi elementler oluşturmaktadır. Ancak izin verilebilir sınırı aşmadığı sürece toksin oluşturmazlar. Bu kapsamda bitkilerde ağır metal içerik değişimlerin takibi önem taşımaktadır. Tablo 45’de WHO/FAO tarafından bitkilerde izin verilebilir en yüksek ağır metal eşik değerleri verilmiştir (Singh *et al.* 2010; Chauhan *et al.* 2014; Lente *et al.* 2014).

Tablo 45. Bitkilerde İzin Verilebilir Ağır Metal İçerikleri (mg/kg)

Standart	Cd	Cr	Pb	Mn	Ni	Zn	Fe	Cu
WHO/FAO (2007)	0,20	1,30	2	500	10	60	425	40

Denemede 2022, 2023 ve iki yıllık ortalama değerleri bakımından aspir bitkisine ait ortalama besin elementleri ve ağır metal alımına ilişkin P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Cd ve Pb içerikleri Tablo 46-51’de; arıtılmış atık su ve temiz suyun aynı parametrelere etkisi ise Tablo 52-54’de verilmiştir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi fosfor (P) içeriği 1422-4900 mg/kg arasında değerler alırken, en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 1291-4445 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulama sayısı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Farklı sulama seviyeleri konuları ve bakteri konuları incelendiğinde, uygulamaların azalması ile birlikte P içeriğinin azaldığı belirlenmiş olup S2 ve S3 konuları ile R0, R1 ve R2 konuları kendi içerisinde istatistiksel olarak benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi potasyum (K) içeriği 896-5390 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R1 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 838-5902 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Farklı sulama seviyeleri konuları ve bakteri konuları incelendiğinde, uygulamaların azalması ile birlikte K içeriğinin azaldığı belirlenmiş olup S1 ile S2, S3 ile S4 konuları ve R0, R1 ve R2 konuları arasında ise gruplar arasında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi kalsiyum (Ca) içeriği 992-1612 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R3 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 940-1538 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R1 konusunda saptanmıştır. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulama sayıları önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Ca içeriğinin azaldığı görülmektedir. Çalışmanın su seviyesi konuları incelendiğinde, arıtılmış atık su konusunda uygulamaların birbirinden istatistiksel olarak farkı gözlenirken, temiz su konusunda S2 ile S3 konuları arasında ise istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir. Bakteri uygulamalarına ait ortalamalar incelendiğinde ise kontrol konusuna göre istatistiksel düzeyde bir farklılık saptanmamıştır.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi magnezyum (Mg) içeriği 1170-2517 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. Magnezyum içeriği 2023 yılında 1344-2882 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Farklı sulama seviyeleri konuları ve bakteri konuları incelendiğinde en yüksek Mg içeriklerinin tam sulama (S1) ve üç kez bakteri uygulaması (R3) konularında elde edildiği saptanmıştır. Araştırmada arıtılmış atık su sulama seviyeleri içerisinde S3 ile S4, temiz su sulama seviyelerinde ise S2, S3 ile S4 uygulamaları arasında ise gruplar arasında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir. Denemenin her iki yılının tüm uygulamalarında R0, R1 ve R2 uygulamaları istatistiksel olarak benzerlik göstermiştir. Bu durum, kullanılan arıtılmış atık suyun içeriğindeki elementlerin daha zengin olmasının bir sonucu ve uygulanan bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin fosfor ve potasyumu bitkilerin kullanabileceği bir forma dönüştürebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 46. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama P ve K İçerik Değerlerine Etkisi

P (mg/kg)							K (mg/kg)						
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	1428 dB	1434 dB	1422 dB	1875 dA	1538	S0	902 cB	896 cB	907 cB	1077 cA	946
		S1	4071 aB	4065 aB	4056 aB	4900 aA	4273	S1	4785 aB	4817 aB	4780 aB	5390 aA	4943
		S2	3368 bB	3356 bB	3387 bB	3762 bA	3468	S2	4804 aB	4770 aB	4791 aB	5289 aA	4914
		S3	3370 bB	3365 bB	3379 bB	3751 bA	3466	S3	2157 bB	2114 bB	2169 bB	3567 bA	2502
		S4	1882 cB	1888 cB	1870 cB	2455 cA	2024	S4	2162 bB	2143 bB	2197 bB	3442 bA	2486
	Ortalama		2822	2821	2822	3348		Ort.	2962	2948	2969	3753	
	Temiz Su	S0	1428 dB	1434 dB	1422 dB	1875 dA	1538	S0	902 cB	896 cB	907 cB	1077 cA	946
		S1	2604 aB	2599 aB	2615 aB	3387 aA	2801	S1	1934 aB	1952 aB	1921 aB	2197 aA	2001
		S2	2012 bB	2010 bB	2001 bB	2442 bA	2116	S2	1916 aB	1902 aB	1924 aB	2169 aA	1978
		S3	2001 bB	1996 bB	2008 bB	2455 bA	2115	S3	1589 bB	1601 bB	1565 bB	1712 bA	1617
		S4	1674 cB	1666 cB	1658 cB	2164 cA	1791	S4	1551 bB	1575 bB	1554 bB	1685 bA	1591
	Ortalama		1942	1941	1940	2464		Ort.	1578	1585	1574	1768	
2023	Atık Su	S0	1291 dB	1304 dB	1299 dB	1705 dA	1399	S0	854 cB	846 cB	838 cB	996 cA	884
		S1	3701 aB	3695 aB	3687 aB	4445 aA	3882	S1	5302 aB	5337 aB	5296 aB	5902 aA	5459
		S2	3062 bB	3051 bB	3079 bB	3420 bA	3153	S2	5308 aB	5271 aB	5294 aB	5844 aA	5429
		S3	3074 bB	3059 bB	3079 bB	3410 bA	3155	S3	2383 bB	2336 bB	2397 bB	3842 bA	2739
		S4	1711 cB	1720 cB	1710 cB	2232 cA	1843	S4	2376 bB	2368 bB	2414 bB	3803 bA	2740
	Ortalama		2569	2566	2569	3042		Ort.	3245	3230	3249	4077	
	Temiz Su	S0	1291 dB	1304 dB	1299 dB	1705 dA	1399	S0	854 cB	846 cB	838 cB	996 cA	884
		S1	2812 aB	2807 aB	2824 aB	3658 aA	3025	S1	1942 aB	1953 aB	1931 aB	2201 aA	2007
		S2	2173 bB	2171 bB	2161 bB	2637 bA	2286	S2	1926 aB	1912 aB	1930 aB	2185 aA	1988
		S3	2161 bB	2156 bB	2169 bB	2651 bA	2284	S3	1597 bB	1609 bB	1585 bB	1705 bA	1624
		S4	1808 cB	1799 cB	1791 cB	2337 cA	1934	S4	1560 bB	1583 bB	1562 bB	1695 bA	1600
	Ortalama		2051	2047	2047	2598		Ort.	1576	1579	1571	1756	
Ortalama	Atık Su	S0	1360 dB	1369 dB	1356 dB	1790 dA	1469	S0	878 cB	867 cB	877 cB	1037 cA	915
		S1	3886 aB	3880 aB	3872 aB	4673 aA	4078	S1	5043 aB	5077 aB	5038 aB	5646 aA	5201
		S2	3215 bB	3203 bB	3233 bB	3591 bA	3311	S2	5056 aB	5020 aB	5043 aB	5567 aA	5171
		S3	3222 bB	3212 bB	3229 bB	3581 bA	3311	S3	2270 bB	2225 bB	2283 bB	3704 bA	2621
		S4	1796 cB	1804 cB	1790 cB	2343 cA	1934	S4	2269 bB	2256 bB	2306 bB	3623 bA	2613
	Ortalama		2696	2694	2696	3195		Ort.	3103	3089	3109	3915	
	Temiz Su	S0	1360 dB	1369 dB	1356 dB	1790 dA	1600	S0	878 cB	867 cB	877 cB	1037 cA	915
		S1	2708 aB	2703 aB	2720 aB	3522 aA	2913	S1	1938 aB	1953 aB	1926 aB	2199 aA	2004
		S2	2092 bB	2090 bB	2081 bB	2540 bA	2201	S2	1921 aB	1907 aB	1927 aB	2177 aA	1983
		S3	2081 bB	2076 bB	2088 bB	2553 bA	2200	S3	1593 bB	1605 bB	1575 bB	1709 bA	1620
		S4	1741 cB	1733 cB	1724 cB	2251 cA	1862	S4	1556 bB	1579 bB	1558 bB	1690 bA	1596
	Ortalama		2020	2019	2018	2563		Ort.	1577	1582	1572	1762	

Tablo 47. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Ca ve Mg İçerik Değerlerine Etkisi

Ca (mg/kg)								Mg (mg/kg)					
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	997 e	994 e	1001 e	992 e	995	S0	1174 dB	1188 dB	1170 dB	1235 dA	1192
		S1	1607 a	1612 a	1602 a	1608 a	1607	S1	2294 aB	2296 aB	2285 aB	2517 aA	2348
		S2	1543 b	1550 b	1541 b	1544 b	1545	S2	2015 bB	2024 bB	2011 bB	2403 bA	2113
		S3	1504 c	1500 c	1505 c	1508 c	1504	S3	1527 cB	1536 cB	1546 cB	1968 cA	1644
		S4	1259 d	1250 d	1260 d	1254 d	1256	S4	1538 cB	1539 cB	1542 cB	1981 cA	1650
	Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1710	1717	1711	2021	
	Temiz Su	S0	997 c	994 c	1001 c	992 c	995	S0	1174 cB	1184 cB	1170 cB	1235 cA	1191
		S1	1266 a	1270 a	1271 a	1265 a	1268	S1	1427 aB	1434 aB	1425 aB	1592 aA	1470
		S2	1210 b	1217 b	1212 b	1209 b	1212	S2	1297 bB	1294 bB	1288 bB	1498 bA	1344
		S3	1218 b	1214 b	1220 b	1208 b	1215	S3	1286 bB	1290 bB	1295 bB	1487 bA	1340
		S4	1011 c	1008 c	1015 c	1006 c	1010	S4	1294 bB	1282 bB	1297 bB	1492 bA	1341
Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1296	1297	1295	1461		
2023	Atık Su	S0	950 e	940 e	954 e	945 e	947	S0	1344 dB	1360 dB	1349 dB	1414 dA	1365
		S1	1530 a	1538 a	1526 a	1531 a	1531	S1	2627 aB	2629 aB	2616 aB	2882 aA	2688
		S2	1470 b	1476 b	1468 b	1474 b	1472	S2	2307 bB	2317 bB	2303 bB	2751 bA	2420
		S3	1432 c	1426 c	1433 c	1436 c	1432	S3	1748 cB	1759 cB	1770 cB	2253 cA	1883
		S4	1199 d	1190 d	1200 d	1191 d	1195	S4	1761 cB	1762 cB	1766 cB	2268 cA	1889
	Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1958	1966	1959	2314	
	Temiz Su	S0	950 d	940 d	954 d	945 d	947	S0	1344 cB	1360 cB	1349 cB	1414 cA	1367
		S1	1277 a	1281 a	1282 a	1279 a	992	S1	1541 aB	1545 aB	1539 aB	1719 aA	1586
		S2	1224 b	1225 b	1223 b	1220 b	1223	S2	1401 bB	1398 bB	1396 bB	1618 bA	1453
		S3	1229 b	1221 b	1231 b	1219 b	1225	S3	1383 bB	1393 bB	1399 bB	1616 bA	1448
		S4	1020 c	1017 c	1024 c	1015 c	1019	S4	1398 bB	1385 bB	1401 bB	1611 bA	1449
Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1413	1416	1417	1596		
Ortalama	Atık Su	S0	973 e	965 e	978 e	968 e	971	S0	1259 dB	1274 dB	1255 dB	1325 dA	1278
		S1	1569 a	1575 a	1564 a	1570 a	1569	S1	2460 aB	2462 aB	2451 aB	2699 aA	2518
		S2	1506 b	1513 b	1504 b	1509 b	1508	S2	2161 bB	2171 bB	2157 bB	2577 bA	2267
		S3	1468 c	1463 c	1469 c	1472 c	1468	S3	1638 cB	1647 cB	1658 cB	2111 cA	1763
		S4	1229 d	1220 d	1230 d	1223 d	1225	S4	1649 cB	1651 cB	1654 cB	2125 cA	1770
	Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1834	1841	1835	2167	
	Temiz Su	S0	973 d	965 d	978 d	968 d	971	S0	1259 cB	1274 cB	1255 cB	1325 cA	1278
		S1	1272 a	1276 a	1277 a	1276 a	1130	S1	1484 aB	1489 aB	1482 aB	1656 aA	1528
		S2	1217 b	1221 b	1217 b	1214 b	1217	S2	1349 bB	1346 bB	1342 bB	1558 bA	1399
		S3	1223 b	1217 b	1225 b	1213 b	1220	S3	1334 bB	1342 bB	1347 bB	1551 bA	1394
		S4	1016 c	1013 c	1020 c	1011 c	1015	S4	1346 bB	1333 bB	1349 bB	1552 bA	1395
Ortalama		1382	1382	1382	1382		Ort.	1354	1357	1355	1528		

Tablo 48. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cd ve Pb İçerik Değerlerine Etkisi

Cd (mg/kg)								Pb (mg/kg)					
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	0,014 e	0,016 e	0,017 e	0,019 e	0.016	S0	0,015 e	0,014 e	0,013 e	0,016 e	0.014
		S1	0,181 a	0,184 a	0,177 a	0,173 a	0.180	S1	0,542 a	0,531 a	0,523 a	0,551 a	0.536
		S2	0,141 b	0,132 b	0,122 b	0,141 b	0.133	S2	0,382 b	0,362 b	0,352 b	0,362 b	0.364
		S3	0,111 c	0,121 c	0,104 c	0,111 c	0.112	S3	0,261 c	0,272 c	0,293 c	0,302 c	0.282
		S4	0,081 d	0,092 d	0,061 d	0,083 d	0.079	S4	0,103 d	0,113 d	0,091 d	0,096 d	0.100
	Ortalama		0,106	0,120	0,096	0,106		Ortalama	0,260	0,258	0,254	0,265	
	Temiz Su	S0	0,014 e	0,016 e	0,017 e	0,019 e	0.016	S0	0,015 e	0,014 e	0,013 e	0,016 e	0.015
		S1	0,061 a	0,081 a	0,071 a	0,092 a	0.076	S1	0,046 a	0,041 a	0,038 a	0,039 a	0.041
		S2	0,051 b	0,047 b	0,046 b	0,045 b	0.047	S2	0,031 b	0,034 b	0,035 b	0,037 b	0.034
		S3	0,022 c	0,024 c	0,023 c	0,025 c	0.023	S3	0,027 c	0,029 c	0,028 c	0,025 c	0.027
		S4	0,018 d	0,019 d	0,019 d	0,017 d	0.018	S4	0,021 d	0,022 d	0,023 d	0,021 d	0.022
	Ortalama		0,033	0,049	0,035	0,040		Ortalama	0,028	0,029	0,022	0,028	
2023	Atık Su	S0	0,018 e	0,015 e	0,016 e	0,014 e	0.016	S0	0,014 e	0,013 e	0,012 e	0,015 e	0.016
		S1	0,178 a	0,182 a	0,176 a	0,179 a	0.179	S1	0,580 a	0,568 a	0,560 a	0,590 a	0.574
		S2	0,136 b	0,130 b	0,132 b	0,138 b	0.134	S2	0,409 b	0,387 b	0,377 b	0,387 b	0.390
		S3	0,115 c	0,122 c	0,116 c	0,118 c	0.118	S3	0,279 c	0,291 c	0,314 c	0,323 c	0.302
		S4	0,084 d	0,089 d	0,081 d	0,085 d	0.085	S4	0,110 d	0,121 d	0,097 d	0,103 d	0.108
	Ortalama		0,106	0,108	0,104	0,107		Ortalama	0,279	0,276	0,272	0,284	
	Temiz Su	S0	0,018 d	0,015 d	0,016 d	0,014 d	0.016	S0	0,014 e	0,013 e	0,012 e	0,015 e	0.043
		S1	0,071 a	0,078 a	0,076 a	0,079 a	0.076	S1	0,044 a	0,039 a	0,037 a	0,038 a	0.039
		S2	0,051 b	0,044 b	0,048 b	0,043 b	0.047	S2	0,030 b	0,033 b	0,034 b	0,036 b	0.033
		S3	0,026 c	0,025 c	0,028 c	0,026 c	0.026	S3	0,026 c	0,028 c	0,027 c	0,024 c	0.026
		S4	0,019 d	0,017 d	0,017 d	0,015 d	0.017	S4	0,020 d	0,021 d	0,022 d	0,020 d	0.021
	Ortalama		0,037	0,036	0,037	0,035		Ortalama	0,027	0,027	0,049	0,027	
Ortalama	Atık Su	S0	0,016 e	0,016 e	0,017 e	0,017 e	0.016	S0	0,016 e	0,014 e	0,013 e	0,017 e	0.015
		S1	0,180 a	0,183 a	0,177 a	0,176 a	0.179	S1	0,561 a	0,550 a	0,541 a	0,570 a	0.556
		S2	0,139 b	0,131 b	0,127 b	0,140 b	0.134	S2	0,395 b	0,375 b	0,364 b	0,375 b	0.377
		S3	0,113 c	0,122 c	0,110 c	0,115 c	0.115	S3	0,270 c	0,282 c	0,303 c	0,313 c	0.292
		S4	0,083 d	0,091 d	0,071 d	0,084 d	0.082	S4	0,107 d	0,117 d	0,094 d	0,099 d	0.104
	Ortalama		0,106	0,108	0,100	0,106		Ortalama	0,270	0,267	0,263	0,275	
	Temiz Su	S0	0,016 d	0,016 d	0,017 d	0,017 d	0.016	S0	0,015 e	0,014 e	0,019 e	0,016 e	0.043
		S1	0,066 a	0,080 a	0,074 a	0,086 a	0.076	S1	0,045 a	0,040 a	0,037 a	0,038 a	0.040
		S2	0,051 b	0,046 b	0,047 b	0,044 b	0.047	S2	0,030 b	0,033 b	0,034 b	0,036 b	0.034
		S3	0,024 c	0,025 c	0,026 c	0,026 c	0.025	S3	0,026 c	0,028 c	0,027 c	0,025 c	0.027
		S4	0,019 d	0,018 d	0,018 d	0,016 d	0.018	S4	0,021 d	0,022 d	0,023 d	0,021 d	0.021
	Ortalama		0,035	0,037	0,036	0,038		Ortalama	0,027	0,027	0,050	0,027	

Tablo 49. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cr ve Mn İçerik Değerlerine Etkisi

Cr (mg/kg)								Mn (mg/kg)					
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	0,52 c	0,53 e	0,51 e	0,51 e	0,52	S0	8,37	8,40	8,31	8,24	8,34
		S1	1,22 a	1,23 a	1,22 a	1,22 a	1,23	S1	8,30	8,36	8,31	8,35	8,33
		S2	1,01 b	1,02 c	1,08 c	1,14 b	1,06	S2	8,35	8,48	8,32	8,30	8,36
		S3	1,01 b	0,95 d	1,15 b	0,90 c	0,92	S3	8,32	8,41	8,35	8,27	8,34
		S4	1,01 b	1,11 b	0,74 d	0,74 d	0,90	S4	8,36	8,45	8,33	8,26	8,35
	Ortalama		0,95	0,96	0,94	0,84		Ortalama	8,34	8,34	8,34	8,34	
	Temiz Su	S0	0,52 d	0,53 d	0,51 e	0,51 d	0,52	S0	8,37	8,40	8,31	8,24	8,32
		S1	0,74 a	0,76 a	0,75 a	0,74 a	0,74	S1	8,35	8,39	8,33	8,29	8,34
		S2	0,69 b	0,71 b	0,70 b	0,69 b	0,70	S2	8,33	8,45	8,36	8,32	8,37
		S3	0,68 b	0,67 c	0,68 c	0,68 b	0,68	S3	8,38	8,44	8,38	8,24	8,36
		S4	0,65 c	0,66 c	0,65 d	0,63 c	0,64	S4	8,41	8,51	8,31	8,21	8,36
	Ortalama		0,66	0,67	0,66	0,64		Ortalama	8,34	8,34	8,34	8,34	
2023	Atık Su	S0	0,46 d	0,47 d	0,44 d	0,45 d	0,59	S0	8,32	8,35	8,26	8,15	8,27
		S1	1,38 a	1,39 a	1,36 a	1,38 a	1,38	S1	8,25	8,31	8,26	8,30	8,28
		S2	1,14 b	1,15 b	1,22 b	1,20 b	1,18	S2	8,30	8,43	8,27	8,25	8,31
		S3	1,12 b	1,18 b	1,20 b	1,16 b	1,17	S3	8,27	8,36	8,30	8,22	8,28
		S4	0,96 c	1,02 c	1,11 c	1,05 c	1,04	S4	8,31	8,40	8,28	8,21	8,30
	Ortalama		1,04	1,07	1,09 c	1,08		Ortalama	8,34	8,34	8,34	8,34	
	Temiz Su	S0	0,46 c	0,47 c	0,44 c	0,45 c	0,46	S0	8,32	8,35	8,26	8,15	8,27
		S1	0,65 a	0,67 a	0,66 a	0,65 a	0,66	S1	8,30	8,34	8,28	8,24	8,29
		S2	0,61 b	0,63 b	0,57 b	0,61 b	0,60	S2	8,28	8,40	8,31	8,27	8,31
		S3	0,60 b	0,59 b	0,60 b	0,60 b	0,60	S3	8,33	8,39	8,33	8,19	8,31
		S4	0,58 b	0,58 b	0,58 b	0,58 b	0,58	S4	8,36	8,46	8,26	8,16	8,31
	Ortalama		0,58	0,59	0,57	0,58		Ortalama	8,34	8,34	8,34	8,34	
Ortalama	Atık Su	S0	0,49 c	0,50 c	0,48 d	0,48 e	0,55	S0	8,33	8,38	8,31	8,19	8,30
		S1	1,30 a	1,31 a	1,29 a	1,30 a	1,30	S1	8,27	8,33	8,28	8,32	8,30
		S2	1,08 b	1,09 b	1,15 b	1,17 b	1,12	S2	8,32	8,45	8,29	8,27	8,34
		S3	1,07 b	1,07 b	1,18 b	1,03 c	1,08	S3	8,29	8,38	8,32	8,24	8,31
		S4	0,99 b	1,07 b	0,93 c	0,90 d	0,97	S4	8,33	8,42	8,30	8,23	8,32
	Ortalama		1,00	1,02	1,02	0,99		Ortalama	8,31	8,31	8,31	8,31	
	Temiz Su	S0	0,49 c	0,50 c	0,48 c	0,48 c	0,49	S0	8,33	8,38	8,31	8,19	8,29
		S1	0,70 a	0,72 a	0,71 a	0,70 a	0,70	S1	8,32	8,36	8,30	8,26	8,31
		S2	0,65 b	0,65 b	0,64 b	0,65 b	0,65	S2	8,30	8,42	8,33	8,29	8,34
		S3	0,64 b	0,63 b	0,64 b	0,64 b	0,64	S3	8,35	8,41	8,35	8,21	8,33
		S4	0,62 b	0,62 b	0,61 b	0,61 b	0,61	S4	8,38	8,48	8,28	8,18	8,33
	Ortalama		0,62	0,63	0,62	0,61		Ortalama	8,31	8,31	8,31	8,31	

Tablo 50. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Cu ve Zn İçerik Değerlerine Etkisi

Cu (mg/kg)								Zn (mg/kg)					
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	4,98	5,02	5,04	5,01	5,01	S0	15,05 e	16,27 e	16,83 e	15,10 e	15.81
		S1	5,01	5,08	4,99	4,98	5,02	S1	47,14 a	46,84 a	46,31 a	46,81 a	46.68
		S2	5,03	5,05	5,01	4,95	5,01	S2	38,10 b	39,03 b	36,05 b	35,01 b	37.05
		S3	5,05	5,02	5,03	5,01	5,03	S3	29,07 c	28,07 c	30,02 c	31,01 c	29.54
		S4	5,01	5,06	5,09	4,96	5,03	S4	22,02 d	21,52 d	22,33 d	22,41 d	22.07
	Ortalama		5,01	5,02	5,05	5,03		Ortalama	30,27	30,28	30,31	30,07	
	Temiz Su	S0	4,98	5,02	5,04	5,01	5,01	S0	15,05 e	16,27 e	16,83 e	15,10 d	15.81
		S1	5,09	5,01	5,03	4,98	5,03	S1	21,01 a	21,51 a	21,01 a	20,06 a	20.90
		S2	4,99	5,04	4,96	4,95	4,99	S2	20,15 b	20,01 b	20,06 b	20,01 a	20.04
		S3	5,05	5,02	5,03	5,04	5,04	S3	18,21 c	18,31 c	18,06 c	17,91 b	18.12
		S4	5,08	5,10	4,96	4,98	5,03	S4	17,11 d	16,61 d	16,81 d	17,51 c	17.01
	Ortalama		4,97	5,04	5,04	5,00		Ortalama	18,30	18,54	18,55	18,12	
2023	Atık Su	S0	5,02	5,06	5,08	5,05	5,05	S0	14,55 e	15,67 e	15,21 e	14,50 e	15.23
		S1	5,05	5,12	5,03	5,02	5,06	S1	45,39 a	45,68 a	44,87 a	45,36 a	45.32
		S2	5,07	5,09	5,05	4,99	5,05	S2	36,92 b	37,82 b	34,93 b	33,92 b	35.90
		S3	5,09	5,06	5,07	5,05	5,07	S3	28,17 c	27,20 c	29,09 c	30,05 c	28.63
		S4	5,07	5,10	5,14	5,00	5,08	S4	21,34 d	20,85 d	21,64 d	21,72 d	21.39
	Ortalama		5,05	5,06	5,09	5,07		Ortalama	29,32	29,39	29,35	29,12	
	Temiz Su	S0	5,02	5,06	5,08	5,05	5,05	S0	14,55 e	15,67 e	16,21 e	14,50 e	15.23
		S1	5,13	5,05	5,07	5,02	5,07	S1	20,24 a	20,72 a	20,24 a	19,33 a	20.13
		S2	5,03	5,08	5,08	5,01	5,02	S2	19,41 b	19,28 b	19,33 b	19,28 b	19.32
		S3	5,09	5,06	5,07	5,08	5,08	S3	17,54 c	17,64 c	17,40 c	17,25 c	17.46
		S4	5,12	5,10	5,00	5,02	5,07	S4	16,48 d	16,00 d	16,19 d	16,87 d	16.39
	Ortalama		5,08	5,08	5,08	5,04		Ortalama	17,64	17,86	17,87	17,45	
Ortalama	Atık Su	S0	5,00	5,04	5,06	5,03	5,03	S0	14,77 e	15,97 e	15,52 e	14,82 e	15.52
		S1	5,03	5,10	5,01	5,00	5,04	S1	46,41 a	46,11 a	45,59 a	46,08 a	46.05
		S2	5,05	5,07	5,03	4,97	5,03	S2	35,51 b	36,42 b	35,49 b	34,47 b	36.47
		S3	5,07	5,04	5,05	5,03	5,05	S3	28,62 c	27,63 c	29,55 c	30,53 c	29.08
		S4	5,04	5,08	5,11	4,98	5,05	S4	21,68 d	21,19 d	21,98 d	22,06 d	21.73
	Ortalama		5,04	5,04	5,07	5,05		Ortalama	29,80	29,87	29,83	29,59	
	Temiz Su	S0	5,00	5,04	5,06	5,03	5,03	S0	14,77 e	15,97 e	15,52 e	14,82 e	15.52
		S1	5,11	5,03	5,05	5,00	5,05	S1	20,63 a	21,12 a	20,63 a	19,69 a	20.51
		S2	5,01	5,06	4,98	4,97	5,00	S2	19,78 b	19,64 b	19,69 b	19,64 b	19.69
		S3	5,07	5,04	5,05	5,06	5,06	S3	17,88 c	17,97 c	17,73 c	17,58 c	17.79
		S4	5,10	5,12	4,98	5,00	5,05	S4	16,80 d	16,31 d	16,50 d	17,19 d	16.70
	Ortalama		5,05	5,06	5,06	5,02		Ortalama	17,97	18,20	18,21	17,79	

Tablo 51. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Aspir Bitkisinin Ortalama Fe ve Ni İçerik Değerlerine Etkisi

Fe (mg/kg)								Ni (mg/kg)					
Yıl	Konu	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.	Sulama Seviyeleri	Bakteri Uygulamaları				Ort.
			R0	R1	R2	R3			R0	R1	R2	R3	
2022	Atık Su	S0	25,01 e	25,54 e	25,32 e	25,18 e	25,26	S0	0,18 d	0,24 d	0,21 d	0,16 d	0.19
		S1	48,04 a	48,29 a	48,25 a	48,13 a	48,18	S1	1,17 a	1,06 a	1,16 a	1,23 a	1.2
		S2	44,29 b	44,11 b	44,33 b	44,28 b	44,25	S2	1,01 b	0,79 b	1,18 b	1,18 b	1.07
		S3	42,56 c	42,39 c	42,69 c	42,41 c	42,51	S3	0,64 c	0,66 c	0,69 c	0,62 c	1.01
		S4	40,02 d	40,05 d	40,15 d	40,13 d	40,09	S4	0,61 c	0,68 c	0,73 c	0,60 c	0.67
	Ortalama		39.98	39,96	39,95	39,92		Ortalama	0,75	0,7	0,93	0,92	
	Temiz Su	S0	25,01 c	25,54 c	25,32 c	25,18 c	25,26	S0	0,18 c	0,24 c	0,21 c	0,16 c	0.19
		S1	32,06 a	32,41 a	32,28 a	32,35 a	32,28	S1	0,54 a	0,50 a	0,52 a	0,51 a	0.52
		S2	32,26 a	32,41 a	32,39 a	32,44 a	32,38	S2	0,52 a	0,49 a	0,51 a	0,49 a	0.49
		S3	30,02 b	30,05 b	30,15 b	30,14 b	30,09	S3	0,37 b	0,32 b	0,34 b	0,35 b	0.39
		S4	29,98 b	30,03 b	30,12 b	29,86 b	30,00	S4	0,35 b	0,33 b	0,32 b	0,33 b	0.33
Ortalama		39.98	39,97	39,99	39,96		Ortalama	0,39	0,39	0,39	0,38		
2023	Atık Su	S0	24,05 e	24,56 e	24,35 e	24,21 e	24,29	S0	0,16 d	0,25 d	0,22 d	0,18 d	0.20
		S1	51,88 a	52,11 a	52,15 a	51,98 a	52,03	S1	1,20 a	1,09 a	1,14 a	1,16 a	1.37
		S2	47,83 b	47,64 b	47,88 b	47,82 b	47,79	S2	1,04 b	0,99 b	1,02 b	1,03 b	1.07
		S3	45,96 c	45,78 c	46,11 c	45,80 c	45,91	S3	0,66 c	0,68 c	0,71 c	0,64 c	0.67
		S4	43,22 d	43,25 d	43,36 d	43,34 d	43,29	S4	0,63 c	0,70 c	0,75 c	0,62 c	0.67
	Ortalama		42.59	42,68	42,76	42,63			0,74	0,70	0,92	0,83	
	Temiz Su	S0	24,05 c	24,56 c	24,35 c	24,21 c	24,29	S0	0,16 c	0,24 c	0,21 c	0,18 c	0.19
		S1	30,83 a	31,16 a	31,04 a	31,11 a	31,03	S1	0,53 a	0,49 a	0,51 a	0,50 a	0.51
		S2	31,02 a	31,10 a	31,14 a	31,19 a	31,13	S2	0,51 a	0,48 a	0,50 a	0,48 a	0.49
		S3	28,87 b	28,89 b	28,99 b	28,98 b	28,93	S3	0,36 b	0,31 b	0,33 b	0,34 b	0.34
		S4	28,83 b	28,89 b	28,96 b	28,71 b	28,85	S4	0,34 b	0,32 b	0,31 b	0,32 b	0.33
Ortalama		28.72	28,93	28,90	28,84		Ortalama	0,38	0,37	0,37	0,37		
Ortalama	Atık Su	S0	24,53 e	25,05 e	24,83 e	24,70 e	24,78	S0	0,16 d	0,24 d	0,21 d	0,18 d	0.20
		S1	49,96 a	50,22 a	50,18 a	50,06 a	50,10	S1	1,18 a	1,07 a	1,25 a	1,25 a	1.35
		S2	46,06 b	45,87 b	46,10 b	46,05 b	46,02	S2	1,02 b	0,80 b	1,19 b	1,18 b	1.06
		S3	44,26 c	44,09 c	44,40 c	44,11 c	44,21	S3	0,65 c	0,67 c	0,70 c	0,63 c	0.66
		S4	41,62 d	41,65 d	41,76 d	41,74 d	41,69	S4	0,62 c	0,69 c	0,74 c	0,61 c	0.66
	Ortalama		41.29	41,38	41,45	41,33		Ortalama	0,73	0,69	0,91	0,82	
	Temiz Su	S0	24,53 c	25,05 c	24,83 c	24,70 c	24,78	S0	0,16 c	0,24 c	0,21 c	0,18 c	0.20
		S1	31,44 a	31,79 a	31,66 a	31,73 a	31,65	S1	0,54 a	0,50 a	0,52 a	0,51 a	0.51
		S2	31,64 a	31,72 a	31,77 a	31,82 a	31,75	S2	0,52 a	0,49 a	0,51 a	0,49 a	0.50
		S3	29,44 b	29,47 b	29,57 b	29,56 b	29,51	S3	0,37 b	0,32 b	0,34 b	0,35 b	0.34
		S4	29,40 b	29,47 b	29,54 b	29,29 b	29,43	S4	0,35 b	0,33 b	0,32 b	0,33 b	0.33
Ortalama		29.29	29,51	29,47	29,42		Ortalama	0,38	0,37	0,38	0,37		

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi kadmiyum (Cd) içeriği 0,014-0,184 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 0,014-0,182 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R3 konusunda elde edilmiştir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulamaları önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Cd içeriğinin azaldığı görülmektedir. Bakteri uygulamalarına ait ortalamalar incelendiğinde kontrol konusuna göre istatistiksel düzeyde bir farklılık saptanmamıştır.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi kurşun (Pb) içeriği 0,013-0,551 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 0,012-0,590 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda saptanmıştır. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulama sayısı önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Pb içeriğinin azaldığı görülmektedir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi krom (Cr) içeriği 0,51-1,23 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R2 ve S0R3 konularında gözlenmiştir. Bu element içeriği 2023 yılında 0,44-1,39 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulama sayısı önemsiz bulunmuştur. Farklı sulama seviyeleri konularının her iki yıl ortalaması dikkate alındığında arıtılmış atık su için S2 ile S3, temiz su için ise S2, S3 ve S4 uygulamaları arasında gruplar arasında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi manganez (Mn) içeriği 8,24-8,48 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S2R1 konusunda, en düşük değer ise S0R3 konusunda gözlenmiştir. Manganez içeriği 2023 yılında 8,15-8,46 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer temiz su uygulaması olan S4R1 konusunda, en düşük değer ise S0R2 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulama sayısı arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi bakır (Cu) içeriği 4,95-5,09 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer temiz su uygulaması olan S1R0 konusunda, en düşük değer

ise arıtılmış atık su uygulaması olan S2R3 konusunda gözlenmiştir. Bakır içeriği 2023 yılında 4,99-5,14 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S4R2 konusunda, en düşük değer ise arıtılmış atık su uygulaması olan S2R3 konusunda saptanmıştır. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi çinko (Zn) içeriği 15,05-47,14 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R0 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Çinko içeriği 2023 yılında 14,50-45,68 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R3 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulamaları önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Zn içeriğinin azaldığı görülmektedir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi demir (Fe) içeriği 25,01-48,29 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Demir içeriği 2023 yılında 24,05-52,15 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R2 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulama sayısı önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Fe içeriğinin azaldığı görülmektedir. Farklı sulama seviyeleri konuları incelendiğinde 2023 yılı temiz su uygulamalarında S1 ile S2 ve S3 ile S4 konuları grupsal olarak benzerlik göstermiştir.

Denemenin 2022 yılında aspir bitkisi nikel (Ni) içeriği 0,16-1,23 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise S0R3 konusunda elde edilmiştir. Nikel içeriği 2023 yılında 0,16-1,20 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer arıtılmış atık su uygulaması olan S1R0 konusunda, en düşük değer ise S0R0 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulama sayıları önemsiz bulunmuştur. Araştırmada artan su stresi ile Ni içeriğinin azaldığı görülmektedir. Farklı sulama seviyeleri konuları incelendiğinde 2022 ve 2023 yıllarında arıtılmış atık su koşullarında S3 ile S4, temiz su koşullarında ise S1 ile S2 ve S3 ile S4 konularının gruplar arasında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir.

Tablo 52. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin P, K, Ca ve Mg Değerlerine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	P (mg/kg)				K (mg/kg)				Ca (mg/kg)				Mg (mg/kg)			
			Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	4071*	4065*	4056*	4900*	4785*	4817*	4780*	5390*	1607*	1612*	1602*	1608*	2294*	2296*	2285*	2517*
		Temiz Su	2604	2599	2615	3387	1934	1952	1921	2197	1266	1270	1271	1265	1427	1434	1425	1592
	S2	Atık Su	3368*	3356*	3387*	3762*	4804*	4770*	4791*	5289*	1543*	1550*	1541*	1544*	2015*	2024*	2011*	2403*
		Temiz Su	2012	2010	2001	2442	1916	1902	1924	2169	1210	1217	1212	1209	1297	1294	1288	1498
2023	S3	Atık Su	3370*	3365*	3379*	3751*	2157*	2114*	2169*	3567*	1504*	1500*	1505*	1508*	1527*	1536*	1546*	1968*
		Temiz Su	2001	1996	2008	2455	1589	1601	1565	1712	1218	1214	1220	1208	1286	1290	1295	1487
	S4	Atık Su	1882*	1888*	1870*	2455*	2162*	2143*	2197*	3442*	1259*	1250*	1260*	1254*	1538*	1539*	1542*	1981*
		Temiz Su	1674	1666	1658	2164	1551	1575	1554	1685	1011	1008	1015	1006	1294	1282	1297	1492
Ortalama	S1	Atık Su	3701*	3695*	3687*	4445*	5302*	5337*	5296*	5902*	1530*	1538*	1526*	1531*	2627*	2629*	2616*	2882*
		Temiz Su	2812	2807	2824	3658	1942	1953	1931	2201	1277	1281	1282	1278	1541	1545	1539	1719
	S2	Atık Su	3062*	3051*	3079*	3420*	5308*	5271*	5294*	5844*	1470*	1476*	1468*	1474*	2307*	2317*	2303*	2751*
		Temiz Su	2173	2171	2161	2637	1926	1912	1930	2185	1224	1225	1223	1220	1401	1398	1396	1618
Ortalama	S3	Atık Su	3074*	3059*	3079*	3410*	2383*	2336*	2397*	3842*	1432*	1426*	1433*	1436*	1748*	1759*	1770*	2253*
		Temiz Su	2161	2156	2169	2651	1597	1609	1585	1705	1229	1221	1231	1219	1383	1393	1399	1616
	S4	Atık Su	1711*	1720*	1710*	2232*	2376*	2368*	2414*	3803*	1199*	1190*	1200*	1191*	1761*	1762*	1766*	2268*
		Temiz Su	1808	1799	1791	2337	1560	1583	1562	1695	1020	1017	1024	1015	1398	1385	1401	1611
Ortalama	S1	Atık Su	3886*	3880*	3872*	4673*	5043*	5077*	5038*	5646*	1569*	1575*	1564*	1570*	2460*	2462*	2451*	2699*
		Temiz Su	2708	2703	2720	3522	1938	1953	1926	2199	1272	1276	1277	1276	1484	1489	1482	1656
	S2	Atık Su	3215*	3203*	3233*	3591*	5056*	5020*	5043*	5567*	1506*	1513*	1504*	1509*	2161*	2171*	2157*	2577*
		Temiz Su	2092	2090	2081	2540	1921	1907	1927	2177	1217	1221	1217	1214	1349	1346	1342	1558
Ortalama	S3	Atık Su	3222*	3212*	3229*	3581*	2270*	2225*	2283*	3704*	1468*	1463*	1469*	1472*	1638*	1647*	1658*	2111*
		Temiz Su	2081	2076	2088	2553	1593	1605	1575	1709	1223	1217	1225	1213	1334	1342	1347	1551
	S4	Atık Su	1796*	1804*	1790*	2343*	2269*	2256*	2306*	3623*	1229*	1220*	1230*	1223*	1649*	1651*	1654*	2125*
		Temiz Su	1741	1733	1724	2251	1556	1579	1558	1690	1016	1013	1020	1011	1346	1333	1349	1552

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 53. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Cd, Pb, Cr ve Mn Değerlerine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Cd (mg/kg)				Pb (mg/kg)				Cr (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
			Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0,18*	0,19*	0,18*	0,17*	0,54*	0,53*	0,52*	0,55*	1,22*	1,23*	1,22*	1,22*	8,30 ^{ns}	8,36 ^{ns}	8,31 ^{ns}	8,35 ^{ns}
		Temiz Su	0,061	0,081	0,071	0,092	0,046	0,041	0,038	0,039	0,74	0,76	0,75	0,74	8,35	8,39	8,33	8,29
	S2	Atık Su	0,14*	0,13*	0,12*	0,14*	0,38*	0,36*	0,35*	0,36*	1,01*	1,02*	1,08*	1,14*	8,35 ^{ns}	8,48 ^{ns}	8,32 ^{ns}	8,3 ^{ns}
		Temiz Su	0,051	0,047	0,046	0,045	0,031	0,034	0,035	0,037	0,69	0,71	0,70	0,69	8,33	8,45	8,36	8,32
2023	S3	Atık Su	0,11*	0,12*	0,10*	0,11*	0,26*	0,27*	0,29*	0,30*	1,01*	0,95*	1,15*	0,60*	8,32 ^{ns}	8,41 ^{ns}	8,35 ^{ns}	8,27 ^{ns}
		Temiz Su	0,022	0,024	0,023	0,025	0,027	0,029	0,028	0,025	0,68	0,67	0,68	0,68	8,38	8,44	8,38	8,24
	S4	Atık Su	0,08*	0,09*	0,06*	0,08*	0,10*	0,11*	0,09*	0,09*	1,01*	1,11*	0,74*	0,74*	8,36 ^{ns}	8,45 ^{ns}	8,33 ^{ns}	8,26 ^{ns}
		Temiz Su	0,018	0,019	0,019	0,017	0,021	0,022	0,023	0,021	0,65	0,66	0,65	0,63	8,41	8,51	8,31	8,21
Ortalama	S1	Atık Su	0,18*	0,18*	0,18*	0,18*	0,58*	0,57*	0,56*	0,59*	1,38*	1,39*	1,36*	1,38*	8,25 ^{ns}	8,31 ^{ns}	8,26 ^{ns}	8,30 ^{ns}
		Temiz Su	0,071	0,078	0,076	0,079	0,044	0,039	0,037	0,038	0,65	0,67	0,66	0,65	8,30	8,34	8,28	8,24
	S2	Atık Su	0,14*	0,13*	0,13*	0,14*	0,419	0,39*	0,38*	0,39*	1,14*	1,15*	1,22*	1,20*	8,30 ^{ns}	8,43 ^{ns}	8,27 ^{ns}	8,25 ^{ns}
		Temiz Su	0,051	0,044	0,048	0,043	0,030	0,033	0,034	0,036	0,61	0,63	0,57	0,61	8,28	8,40	8,31	8,27
Ortalama	S3	Atık Su	0,12*	0,12*	0,12*	0,12*	0,28*	0,29*	0,31*	0,32*	1,12*	1,18*	1,20*	1,16*	8,27 ^{ns}	8,36 ^{ns}	8,30 ^{ns}	8,22 ^{ns}
		Temiz Su	0,026	0,025	0,028	0,026	0,026	0,028	0,027	0,024	0,60	0,59	0,60	0,60	8,33	8,39	8,33	8,19
	S4	Atık Su	0,08*	0,09*	0,08*	0,09*	0,11*	0,12*	0,09*	0,10*	0,96*	1,02*	1,11*	1,05*	8,31 ^{ns}	8,40 ^{ns}	8,28 ^{ns}	8,21 ^{ns}
		Temiz Su	0,019	0,017	0,017	0,015	0,020	0,021	0,022	0,020	0,58	0,58	0,58	0,58	8,36	8,46	8,26	8,16
Ortalama	S1	Atık Su	0,18*	0,18*	0,18*	0,18*	0,56*	0,55*	0,54*	0,57*	1,30*	1,31*	1,29*	1,30*	8,27 ^{ns}	8,33 ^{ns}	8,28 ^{ns}	8,32 ^{ns}
		Temiz Su	0,066	0,080	0,074	0,086	0,045	0,040	0,037	0,038	0,70	0,72	0,71	0,70	8,32	8,36	8,30	8,26
	S2	Atık Su	0,14*	0,13*	0,13*	0,14*	0,39*	0,37*	0,36*	0,37*	1,08*	1,09*	1,15*	1,17*	8,32 ^{ns}	8,45 ^{ns}	8,29 ^{ns}	8,27 ^{ns}
		Temiz Su	0,051	0,046	0,047	0,044	0,030	0,033	0,034	0,036	0,65	0,65	0,64	0,65	8,30	8,42	8,33	8,29
Ortalama	S3	Atık Su	0,11*	0,12*	0,11*	0,12*	0,27*	0,28*	0,30*	0,31*	1,07*	1,07*	1,18*	1,03*	8,29 ^{ns}	8,38 ^{ns}	8,32 ^{ns}	8,24 ^{ns}
		Temiz Su	0,024	0,025	0,026	0,026	0,026	0,028	0,027	0,025	0,64	0,63	0,64	0,64	8,35	8,41	8,35	8,21
	S4	Atık Su	0,08*	0,09*	0,07*	0,08*	0,11*	0,12*	0,09*	0,09*	0,99*	1,07*	0,93*	0,90*	8,33 ^{ns}	8,42 ^{ns}	8,30 ^{ns}	8,23 ^{ns}
		Temiz Su	0,019	0,018	0,018	0,016	0,021	0,022	0,023	0,021	0,62	0,62	0,61	0,61	8,38	8,48	8,28	8,18

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 54. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Aspir Bitkisinin Cu, Zn, Fe ve Ni Değerlerine Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	Cu (mg/kg)				Zn (mg/kg)				Fe (mg/kg)				Ni (mg/kg)			
			Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları				Bakteri Uygulamaları			
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	5,01 ^{ns}	5,08 ^{ns}	4,99 ^{ns}	4,98 ^{ns}	47,14*	46,84*	46,31*	46,81*	48,04*	48,29*	48,25*	48,13*	1,17*	1,06 *	1,16*	1,23*
		Temiz Su	5,09	5,01	5,03	4,98	21,01	21,51	21,01	20,06	32,06	32,41	32,28	32,35	0,54	0,50	0,52	0,51
	S2	Atık Su	5,03 ^{ns}	5,05 ^{ns}	5,01 ^{ns}	4,95 ^{ns}	38,10*	39,03*	36,05*	35,01*	44,29*	44,11*	44,33*	44,28*	1,01*	0,79*	1,18*	1,18*
		Temiz Su	4,99	5,04	4,96	4,95	20,15	20,01	20,06	20,01	33,06	32,51	33,01	33,13	0,52	0,49	0,51	0,49
2023	S3	Atık Su	5,05 ^{ns}	5,02 ^{ns}	5,03 ^{ns}	5,01 ^{ns}	29,07*	28,07*	30,02*	31,01*	42,56*	42,39*	42,69*	42,41*	0,64*	0,66*	0,69*	0,62*
		Temiz Su	5,05	5,02	5,03	5,04	18,21	18,31	18,06	17,91	30,02	30,05	30,15	30,14	0,40	0,39	0,38	0,39
	S4	Atık Su	5,01 ^{ns}	5,06 ^{ns}	5,09 ^{ns}	4,96 ^{ns}	22,02*	21,52*	22,33*	22,41*	40,02*	40,05*	40,15*	40,13*	0,61*	0,68*	0,73*	0,60*
		Temiz Su	5,08	5,10	4,96	4,98	17,11	16,61	16,81	17,51	29,98	30,03	30,12	29,86	0,35	0,33	0,32	0,33
Ortalama	S1	Atık Su	5,05 ^{ns}	5,12 ^{ns}	5,03 ^{ns}	5,02 ^{ns}	45,68*	45,39*	44,87*	45,36*	51,88*	52,15*	52,11*	51,98*	1,20*	1,09*	1,14*	1,16*
		Temiz Su	5,13	5,05	5,07	5,02	20,24	20,72	20,24	19,33	30,83	31,16	31,04	31,11	0,53	0,49	0,51	0,50
	S2	Atık Su	5,07 ^{ns}	5,09 ^{ns}	5,05 ^{ns}	4,99 ^{ns}	36,92*	37,82*	34,93*	33,92*	47,83*	47,64*	47,88*	47,82*	1,04*	0,99*	1,02*	1,03*
		Temiz Su	5,03	5,08	5,00	4,99	19,41	19,28	19,33	19,28	31,02	31,10	31,14	31,19	0,51	0,48	0,50	0,48
Ortalama	S3	Atık Su	5,09 ^{ns}	5,06 ^{ns}	5,07 ^{ns}	5,05 ^{ns}	28,17*	27,20*	29,09*	30,05*	45,96*	45,78*	46,11*	45,80*	0,66*	0,68*	0,71*	0,64*
		Temiz Su	5,09	5,06	5,07	5,08	17,54	17,64	17,40	17,25	28,87	28,89	28,99	28,98	0,36	0,31	0,33	0,34
	S4	Atık Su	5,07 ^{ns}	5,10 ^{ns}	5,13 ^{ns}	5,00 ^{ns}	21,34*	20,85*	21,64*	21,72*	43,22*	43,25*	43,36*	43,34*	0,63*	0,70*	0,75*	0,62*
		Temiz Su	5,12	5,14	5,00	5,02	16,48	16,00	16,19	16,87	28,83	28,89	28,96	28,71	0,34	0,32	0,31	0,32
Ortalama	S1	Atık Su	5,03 ^{ns}	5,10 ^{ns}	5,01 ^{ns}	5,00 ^{ns}	46,41*	46,11*	45,59*	46,08*	49,96*	50,22*	50,18*	50,06*	1,18*	1,07*	1,25*	1,25*
		Temiz Su	5,11	5,03	5,05	5,00	20,63	21,12	20,63	19,69	31,44	31,79	31,66	31,73	0,54	0,50	0,52	0,51
	S2	Atık Su	5,05 ^{ns}	5,07 ^{ns}	5,03 ^{ns}	4,97 ^{ns}	37,51*	38,42*	35,49*	34,47*	46,06*	45,87*	46,10*	46,05*	1,02*	0,80*	1,19*	1,18*
		Temiz Su	5,01	5,06	4,98	4,97	19,78	19,64	19,69	19,64	31,64	31,72	31,77	31,82	0,52	0,49	0,51	0,49
Ortalama	S3	Atık Su	5,07 ^{ns}	5,04 ^{ns}	5,05 ^{ns}	5,03 ^{ns}	28,62*	27,63*	29,55*	30,53*	44,26*	44,09*	44,40*	44,11*	0,65*	0,67*	0,70*	0,63*
		Temiz Su	5,07	5,04	5,05	5,06	17,88	17,97	17,73	17,58	29,44	29,47	29,57	29,56	0,37	0,32	0,34	0,35
	S4	Atık Su	5,04 ^{ns}	5,08 ^{ns}	5,11 ^{ns}	4,98 ^{ns}	21,68*	21,19*	21,98*	22,06*	41,62*	41,65*	41,76*	41,74*	0,62*	0,69*	0,74*	0,61*
		Temiz Su	5,10	5,12	4,98	5,00	16,80	16,31	16,50	17,19	29,40	29,47	29,54	29,29	0,35	0,33	0,32	0,33

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır, *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 52, 53 ve 54 incelendiğinde arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz su uygulamalarına göre Mn ve Cu hariç besin elementi ve ağır metal içeriğine etkisi istatistiksel olarak $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Genel olarak her iki yılda da bitkide ağır metal alımına ilişkin belirgin bir fark görülmemiştir. Ancak, arıtılmış atık suyla sulanan parsellerdeki bitkilerde daha yüksek düzeyde ağır metal alımı tespit edilmiştir. Bu gözlem, kullanılan arıtılmış atık suyun içeriğindeki elementlerin daha zengin olmasının bir sonucu olarak düşünülmektedir. Çalışmada sulama suyu miktarı arttıkça ağır metal içeriklerin arttığı belirlenmiştir. Bitkide en düşük içerikler Mn ve Cu hariç kuru koşullar altında yetiştirilen bitkilerde gözlenmiştir. Aspir bitkisinin besin elementi ve ağır metal içeriği üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda, içerik değerlerinin tarafımızca yapılan çalışmaya benzerlik gösterdiği görülmektedir (Mariod *et al.* 2012; Castro *et al.* 2013; Al-Surmi *et al.* 2016; Stojanović *et al.* 2023). Yazdani *et al.* (2019), arıtılmış atık su ile sulanan aspir bitkisinde ağır metal içeriklerini Cd 0,035-0,09 mg/kg, Pb 0,028-0,046 mg/kg, Fe 45-160 mg/kg, Mn 32-38 mg/kg, Cu 14-19 mg/kg olarak belirlemişlerdir. Çalışmada sulama suyu kalitesini, tohumlardaki Fe, Cu ve Mn içeriğini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir. Aspir tohumlarındaki toplanan Fe, Cu, Mn, Pb ve Cd konsantrasyonları WHO belirlediği sınırların üzerinde bulunmamıştır. Yazdani *et al.* (2018) tarafından temiz su, atık su ve 1:1 oranında temiz su ile atık su karıştırılmış sulama konularında ayçiçeği bitkisinde Mn, Cu, Fe, Pb, Cd ve As içeriklerinin arttığı gözlenmiştir. Bu değerlerin WHO tarafından belirlenen sınır değerler arasında olduğu belirlenmiştir. Kızıloğlu *et al.* (2008) tarafından, farklı arıtım işlemlerinden geçirilmiş atık suların karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerindeki ağır metal (Mn, Zn, Fe, Cu, Pb, Ni, Cd) içeriğine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, arıtılmamış atık suyun tarım alanlarında doğrudan kullanılabileceği, ancak uzun vadede toprak ve bitki üzerine olumsuz etkiyi azaltmak için arıtılması gerektiği bildirilmiştir. AbdelRahman *et al.* (2011) atık su ve yeraltı suyu ile sulamanın mısır bitkisi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, atık suların sadece N (azot) miktarını artırdığı; ancak P (fosfor), K (potasyum), Ca (kalsiyum), B (bor), Zn (çinko), Cu (bakır), Mn (mangan), Fe (demir), Mg (magnezyum) miktarlarını etkilemediği; iki su kaynağı arasında önemli bir fark oluşturmadığı bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada atık su ve temiz su uygulamaları ile yetiştirilen buğday bitkisinin hasat sonrası Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd içerikleri incelendiğinde, atık suyun temiz suya göre istatistiksel olarak yüksek, ancak kabul edilebilir limitlerde olduğu bildirilmiştir (Singh *et al.* 2012). Birçok araştırmacı atık su üzerine yürüttükleri çalışmalarında atık su ile sulanan bitkilerde ağır metal içeriğini bir miktar artırdığını, ancak önerilen değerlerden daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir (Wang *et al.* 2007; Alikhasi *et al.* 2012; Castro *et al.* 2013; El-Nahhal *et al.* 2013; Moradi *et al.* 2016; Ashraf *et al.* 2021).

McWilliams (2003), Kuslu *et al.* (2008) ve Sahin *et al.* (2015), sulama suyu miktarının azalmasıyla birlikte bitkiye su girişinin azaldığını, bitkide bitki besin elementi ve ağır metal elementlerin daha az birikmesine neden olduğunu belirtmektedir. Bu durumun su stresi koşullarının bitkilerin mineral madde miktarını azalttığı ve yarayışlı forma dönüşümde sorunlar çıkarmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kuslu *et al.* 2008; Sahin *et al.* 2015). Kuraklık stresine bağlı olarak mineral madde miktarındaki değişimin mısır üzerinde de benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir (Zoppellari *et al.* 2014; Yerli 2022).

Su stresine maruz kalan hıyar bitkisinde bitki gelişimini etkileyen kök bakterilerinin N ve K içeriğine etkisi önemlidir (Biçer 2020). Sadak (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada kuraklık stresi altında fide biberlerine uygulanan bakterileri konularının besin elementleri içeriği etkisine bakılmış ve bakteri uygulamalarının K, Ca, Mg içeriklerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Riaz *et al.* (2019) ve Verma *et al.* (2013), tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda PGPR uygulamalarının nohut tanesindeki besin elementleri içeriklerini artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca birçok araştırmacı bitkiler üzerine PGPR uygulamalarının besin elementleri açısından olumlu etkilere sahip oldukları bildirilmiştir (Tagore *et al.* 2013; Kumar *et al.* 2014; Turan *et al.* 2014; Namlı *et al.* 2017; Karagöz *et al.* 2019).

Wu *et al.* (2006), PGPR (*Azotobacter chroococcum* HKN-5, *Bacillus megaterium* HKP-1 ve *Bacillus mucilaginosus* HKK-1) uygulamalarının *Brassica juncea* (Hardal Otu) bitkisinin ağır metal (Pb-Zn) içeriği üzerine etkilerini değerlendirmek için yapılan sera çalışmasında, PGPR uygulamalarının bitki dokularındaki metal konsantrasyonlarını istatistiksel olarak etkilemediği, ancak daha fazla biyokütle verimi sağladığı bildirilmiştir. Roman-Ponce vd. (2016) tarafından, PGPR uygulamasının ağır metale dirençli *Brassica nigra* (siyah hardal) bitkisinin tohum çimlenmesine etkisinin incelendiği bir çalışmada, çok sayıda ağır metalle kontamine olmuş toprakların bitki ıslahında etkili olabileceği; ağır metale karşı dirençli olabileceği; Hardal Otu bitkisinin çimlenmesi ve kök büyümesini önemli ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olarak, literatürde birçok araştırma arıtılmış atık suların bitkilerin ağır metal içeriği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen bitki element miktarlarıyla ilgili bulgular, mevcut araştırmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Toprak Ağır Metal İçerikleri

Ağır metaller, atık suların topraklara karışması sonucunda çevre için ciddi bir tehdit oluşturan önemli bir faktördür. Bu metaller, topraklarda birikme eğilimi göstererek doğal ekosistemleri zehirleyebilir ve bu kirli topraklar üzerinde yetişen bitkiler aracılığıyla insan sağlığını tehdit edebilecek toksik maddelerin yayılmasına neden olabilmektedir.

Arıtılmış atık su ve temiz su koşulları altında, farklı sulama seviyeleri ve bakteri uygulama sayısını konu edinen denemede, hasat sonrası 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak tabakalarında belirlenen Fe, Cd, Cu, Mn, Zn, Ni, Pb ve Cr elementlerinin 2022 ve 2023 yılları analiz sonuçları belirlenerek Tablo 55-70’de sunulmuştur.



Tablo 55. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	35,1 a	35,5 a	35,3 a	35,2 a	31,6 a	31,3 a	31,4 a	31,3 a	27,2 a	27,5 a	27,6 a	27,9 a
		S2	32,2 b	32,1 b	32,4 b	32,1 b	28,5 b	28,6 b	28,2 b	28,3 b	24,5 b	24,7 b	24,0 b	24,2 b
		S3	26,6 c	27,1 c	27,3 c	26,8 c	24,5 c	24,7 c	24,2 c	24,1 c	21,5 c	21,4 c	21,6 c	21,5 c
		S4	19,5 d	18,6 d	19,2 d	19,1 d	16,8 d	16,9 d	16,7 d	16,5 d	10,2 d	10,4 d	10,3 d	10,5 d
		Ort.	28,4	28,3	28,6	28,3	25,4	25,4	25,1	25,1	20,9	21,0	20,9	21,0
	Temiz Su	S1	6,98 a	6,97 a	6,95 a	6,93 a	6,52 a	6,49 a	6,50 a	6,48 a	6,32 a	6,35 a	6,31 a	6,33 a
		S2	6,42 b	6,44 b	6,43 b	6,44 b	6,07 b	6,06 b	6,10 b	6,11 b	5,90 b	5,92 b	5,91 b	5,89 b
		S3	5,81 c	5,82 c	5,83 c	5,86 c	5,54 c	5,66 c	5,58 c	5,69 c	5,44 c	5,43 c	5,46 c	5,42 c
		S4	5,35 d	5,36 d	5,38 d	5,39 d	5,22 d	5,24 d	5,23 d	5,26 d	5,20 d	5,19 d	5,21 d	5,18 d
		Ort.	6,14	6,15	6,15	6,16	5,84	5,86	5,85	5,89	5,72	5,72	5,72	5,71
2023	Atık Su	S1	47,6 a	47,3 a	47,2 a	47,8 a	44,5 a	44,2 a	44,3 a	44,7 a	40,1 a	40,5 a	40,6 a	40,2 a
		S2	40,3 b	40,8 b	40,2 b	40,6 b	35,2 b	35,7 b	35,1 b	35,9 b	30,6 b	30,9 b	30,9 b	30,2 b
		S3	32,1 c	32,5 c	32,6 c	32,3 c	29,8 c	29,3 c	29,4 c	29,2 c	25,3 c	25,4 c	25,3 c	25,8 c
		S4	24,6 d	24,9 d	24,8 d	24,1 d	19,5 d	19,3 d	19,2 d	19,4 d	13,5 d	13,4 d	13,8 d	13,7 d
		Ort.	36,2	36,4	36,2	36,2	32,3	32,1	32,0	32,3	27,4	27,6	27,7	27,5
	Temiz Su	S1	7,78 a	7,72 a	7,74 a	7,71 a	7,24 a	7,25 a	7,23 a	7,19 a	7,05 a	7,03 a	7,08 a	7,03 a
		S2	6,93 b	6,95 b	6,96 b	6,92 b	6,61 b	6,57 b	6,62 b	6,60 b	6,44 b	6,41 b	6,45 b	6,42 b
		S3	6,33 c	6,34 c	6,35 c	6,39 c	6,04 c	6,17 c	6,08 c	6,20 c	5,93 c	5,92 c	5,95 c	5,91 c
		S4	5,86 d	5,92 d	5,93 d	5,95 d	5,70 d	5,72 d	5,77 d	5,73 d	5,69 d	5,70 d	5,72 d	5,71 d
		Ort.	6,73	6,73	6,75	6,74	6,40	6,43	6,43	6,43	6,28	6,27	6,30	6,27
Ortalama	Atık Su	S1	41,4 a	41,4 a	41,3 a	41,5 a	38,1 a	37,8 a	37,9 a	38,0 a	33,7 a	34,0 a	34,1 a	34,1 a
		S2	36,3 b	36,5 b	36,3 b	36,4 b	31,9 b	32,2 b	31,7 b	32,1 b	27,6 b	27,8 b	27,5 b	27,2 b
		S3	29,4 c	29,8 c	30,0 c	29,6 c	27,2 c	27,0 c	26,8 c	26,7 c	23,4 c	23,4 c	23,5 c	23,7 c
		S4	22,1 d	21,8 d	22,0 d	21,6 d	18,2 d	18,1 d	18,0 d	18,0 d	11,9 d	11,9 d	12,1 d	12,1 d
		Ort.	32,3	32,4	32,4	32,3	28,8	28,8	28,6	28,7	24,1	24,3	24,3	24,3
	Temiz Su	S1	7,38 a	7,35 a	7,35 a	7,32 a	6,88 a	6,87 a	6,87 a	6,84 a	6,69 a	6,69 a	6,70 a	6,68 a
		S2	6,68 b	6,70 b	6,70 b	6,68 b	6,34 b	6,32 b	6,36 b	6,36 b	6,17 b	6,17 b	6,18 b	6,16 b
		S3	6,07 c	6,08 c	6,09 c	6,13 c	5,79 c	5,92 c	5,83 c	5,95 c	5,69 c	5,68 c	5,71 c	5,67 c
		S4	5,61 d	5,64 d	5,66 d	5,67 d	5,46 d	5,48 d	5,50 d	5,50 d	5,45 d	5,45 d	5,47 d	5,45 d
		Ort.	6,43	6,44	6,45	6,45	6,12	6,15	6,14	6,16	6,00	5,99	6,01	5,99

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 56. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Fe İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	35,1*	35,5*	35,3*	35,2*	31,6*	31,3*	31,4*	31,3*	27,2*	27,5*	27,6*	27,9*
		Temiz Su	6,98	6,97	6,95	6,93	6,52	6,49	6,50	6,48	6,32	6,35	6,31	6,33
	S2	Atık Su	32,2*	32,1*	32,4*	32,1*	28,5*	28,6*	28,2*	28,3*	24,5*	24,7*	24,0*	24,2*
		Temiz Su	6,42	6,44	6,43	6,44	6,07	6,06	6,10	6,11	5,90	5,92	5,91	5,89
2023	S3	Atık Su	26,6*	27,1*	27,3*	26,8*	24,5*	24,7*	24,2*	24,1*	21,5*	21,4*	21,6*	21,5*
		Temiz Su	5,81	5,82	5,83	5,86	5,54	5,66	5,58	5,69	5,44	5,43	5,46	5,42
	S4	Atık Su	19,5*	18,6*	19,2*	19,1*	16,8*	16,9*	16,7*	16,5*	10,2*	10,4*	10,3*	10,5*
		Temiz Su	5,35	5,36	5,38	5,39	5,22	5,24	5,23	5,26	5,20	5,19	5,21	5,18
Ortalama	S1	Atık Su	47,6*	47,3*	47,2*	47,8*	44,5*	44,2*	44,3*	44,7*	40,1*	40,5*	40,6*	40,2*
		Temiz Su	7,78	7,72	7,74	7,71	7,24	7,25	7,23	7,19	7,05	7,03	7,08	7,03
	S2	Atık Su	40,3*	40,8*	40,2*	40,6*	35,2*	35,7*	35,1*	35,9*	30,6*	30,9*	30,9*	30,2*
		Temiz Su	6,93	6,95	6,96	6,92	6,61	6,57	6,62	6,60	6,44	6,41	6,45	6,42
Ortalama	S3	Atık Su	32,1*	32,5*	32,6*	32,3*	29,8*	29,3*	29,4*	29,2*	25,3*	25,4*	25,3*	25,8*
		Temiz Su	6,33	6,34	6,35	6,39	6,04	6,17	6,08	6,20	5,93	5,92	5,95	5,91
	S4	Atık Su	24,6*	24,9*	24,8*	24,1*	19,5*	19,3*	19,2*	19,4*	13,5*	13,4*	13,8*	13,7*
		Temiz Su	5,86	5,92	5,93	5,95	5,70	5,72	5,77	5,73	5,69	5,70	5,72	5,71
Ortalama	S1	Atık Su	41,4*	41,4*	41,3*	41,5*	38,1*	37,8*	37,9*	38,0*	33,7*	34,0*	34,1*	34,1*
		Temiz Su	7,38	7,35	7,35	7,32	6,88	6,87	6,87	6,84	6,69	6,69	6,70	6,68
	S2	Atık Su	36,3*	36,5*	36,3*	36,4*	31,9*	32,2*	31,7*	32,1*	27,6*	27,8*	27,5*	27,2*
		Temiz Su	6,68	6,70	6,70	6,68	6,34	6,32	6,36	6,36	6,17	6,17	6,18	6,16
Ortalama	S3	Atık Su	29,4*	29,8*	30,0*	29,6*	27,2*	27,0*	26,8*	26,7*	23,4*	23,4*	23,5*	23,7*
		Temiz Su	6,07	6,08	6,09	6,13	5,79	5,92	5,83	5,95	5,69	5,68	5,71	5,67
	S4	Atık Su	22,1*	21,8*	22,0*	21,6*	18,2*	18,1*	18,0*	18,0*	11,9*	11,9*	12,1*	12,1*
		Temiz Su	5,61	5,64	5,66	5,67	5,46	5,48	5,50	5,50	5,45	5,45	5,47	5,45

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 57. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	3,86 a	3,90 a	3,92 a	3,91 a	3,51 a	3,54 a	3,59 a	3,56 a	3,23 a	3,26 a	3,28 a	3,27 a
		S2	3,83 a	3,86 a	3,89 a	3,85 a	3,48 a	3,51 a	3,54 a	3,50 a	3,19 a	3,22 a	3,24 a	3,21 a
		S3	3,59 b	3,64 b	3,62 b	3,61 b	3,28 b	3,26 b	3,23 b	3,28 b	3,14 b	3,13 b	3,15 b	3,12 b
		S4	3,52 b	3,58 b	3,59 b	3,56 b	3,20 b	3,21 b	3,17 b	3,20 b	3,12 b	3,10 b	3,11 b	3,08 b
		Ort.	3,70	3,75	3,74	3,73	3,37	3,38	3,38	3,39	3,17	3,18	3,19	3,17
	Temiz Su	S1	2,80 a	2,78 a	2,81 a	2,84 a	2,39 a	2,45 a	2,48 a	2,42 a	2,02 a	2,05 a	1,92 a	2,03 a
		S2	2,81 a	2,76 a	2,78 a	2,79 a	2,31 a	2,37 a	2,40 a	2,38 a	1,95 a	1,98 a	1,88 a	1,97 a
		S3	1,87 b	1,79 b	1,81 b	1,83 b	1,54 b	1,58 b	1,60 b	1,56 b	1,30 b	1,32 b	1,25 b	1,31 b
		S4	1,80 b	1,72 b	1,74 b	1,76 b	1,48 b	1,52 b	1,54 b	1,52 b	1,25 b	1,27 b	1,20 b	1,26 b
		Ort.	2,35	2,25	2,27	2,30	1,93	1,98	2,01	1,96	1,63	1,66	1,57	1,64
2023	Atık Su	S1	3,98 a	4,05 a	4,06 a	4,05 a	3,68 a	3,66 a	3,63 a	3,64 a	3,34 a	3,35 a	3,32 a	3,38 a
		S2	3,91 a	3,94 a	3,96 a	3,95 a	3,62 a	3,61 a	3,60 a	3,62 a	3,29 a	3,31 a	3,28 a	3,33 a
		S3	3,72 b	3,74 b	3,76 b	3,78 b	3,44 b	3,48 b	3,46 b	3,42 b	3,20 b	3,21 b	3,19 b	3,18 b
		S4	3,69 b	3,71 b	3,73 b	3,74 b	3,41 b	3,44 b	3,42 b	3,40 b	3,18 b	3,18 b	3,17 b	3,15 b
		Ort.	3,83	3,86	3,86	3,88	3,54	3,55	3,53	3,52	3,25	3,26	3,24	3,26
	Temiz Su	S1	2,92 a	2,84 a	2,87 a	2,89 a	2,44 a	2,41 a	2,44 a	2,46 a	2,07 a	2,10 a	1,98 a	2,08 a
		S2	2,81 a	2,76 a	2,82 a	2,80 a	2,38 a	2,42 a	2,41 a	2,39 a	1,99 a	2,03 a	1,94 a	2,02 a
		S3	1,91 b	1,87 b	1,85 b	1,84 b	1,58 b	1,62 b	1,61 b	1,60 b	1,33 b	1,35 b	1,30 b	1,34 b
		S4	1,84 b	1,77 b	1,78 b	1,80 b	1,56 b	1,58 b	1,58 b	1,53 b	1,30 b	1,30 b	1,33 b	1,29 b
		Ort.	2,38	2,31	2,32	2,35	1,99	2,03	2,04	2,00	1,67	1,70	1,64	1,68
Ortalama	Atık Su	S1	3,92 a	3,98 a	3,99 a	3,98 a	3,60 a	3,60 a	3,61 a	3,60 a	3,29 a	3,31 a	3,30 a	3,92 a
		S2	3,87 a	3,90 a	3,89 a	3,90 a	3,55 a	3,56 a	3,57 a	3,56 a	3,24 a	3,27 a	3,26 a	3,88 a
		S3	3,66 b	3,69 b	3,69 b	3,70 b	3,36 b	3,37 b	3,35 b	3,35 b	3,18 b	3,19 b	3,17 b	3,66 b
		S4	3,61 b	3,65 b	3,63 b	3,65 b	3,31 b	3,33 b	3,30 b	3,32 b	3,15 b	3,14 b	3,12 b	3,61 b
		Ort.	3,76	3,80	3,80	3,81	3,45	3,46	3,46	3,45	3,21	3,22	3,21	3,76
	Temiz Su	S1	2,94 a	2,81 a	2,84 a	2,88 a	2,42 a	2,48 a	2,51 a	2,45 a	2,05 a	2,08 a	1,96 a	2,94 a
		S2	2,81 b	2,73 b	2,78 b	2,78 b	2,35 a	2,40 b	2,41 b	2,37 a	1,97 a	2,01 a	1,91 a	2,81 a
		S3	1,89 c	1,83 c	1,83 c	1,85 c	1,56 b	1,60 c	1,61 c	1,58 b	1,32 b	1,34 b	1,28 b	1,89 b
		S4	1,82 d	1,75 d	1,76 d	1,78 d	1,52 b	1,54 c	1,56 c	1,54 b	1,28 b	1,29 b	1,27 b	1,84 b
		Ort.	2,36	2,28	2,30	2,32	1,96	2,00	2,02	1,98	1,65	1,68	1,60	2,36

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 58. Arıtılmış Atık Su Ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cu İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	3,86*	3,90*	3,92*	3,91*	3,51*	3,54*	3,59*	3,56*	3,23*	3,26*	3,28*	3,27*
		Temiz Su	2,90	2,78	2,81	2,84	2,39	2,45	2,48	2,42	2,02	2,05	1,94	2,03
	S2	Atık Su	3,83*	3,86*	3,89*	3,85*	3,48*	3,51*	3,54*	3,50*	3,19*	3,22*	3,24*	3,21*
		Temiz Su	2,81	2,69	2,72	2,75	2,31	2,37	2,40	2,34	1,95	1,98	1,88	1,97
2023	S3	Atık Su	3,59*	3,64*	3,62*	3,61*	3,28*	3,26*	3,23*	3,28*	3,14*	3,13*	3,15*	3,12*
		Temiz Su	1,87	1,79	1,81	1,83	1,54	1,58	1,60	1,56	1,30	1,32	1,25	1,31
	S4	Atık Su	3,52*	3,58*	3,53*	3,56*	3,20*	3,21*	3,17*	3,20*	3,12*	3,10*	3,07*	3,08*
		Temiz Su	1,80	1,72	1,74	1,76	1,48	1,52	1,54	1,50	1,25	1,27	1,20	1,26
Ortalama	S1	Atık Su	3,98*	4,05*	4,06*	4,05*	3,68*	3,66*	3,63*	3,64*	3,34*	3,35*	3,32*	3,38*
		Temiz Su	2,97	2,84	2,87	2,91	2,44	2,51	2,54	2,48	2,07	2,10	1,98	2,08
	S2	Atık Su	3,91*	3,94*	3,89*	3,95*	3,62*	3,61*	3,60*	3,62*	3,29*	3,31*	3,28*	3,33*
		Temiz Su	2,81	2,76	2,78	2,80	2,38	2,42	2,41	2,39	1,99	2,03	1,94	2,02
Ortalama	S3	Atık Su	3,72*	3,74*	3,76*	3,78*	3,44*	3,48*	3,46*	3,42*	3,20*	3,21*	3,19*	3,18*
		Temiz Su	1,91	1,87	1,85	1,87	1,58	1,62	1,61	1,60	1,33	1,35	1,30	1,34
	S4	Atık Su	3,69*	3,71*	3,73*	3,74*	3,41*	3,44*	3,42*	3,40*	3,18*	3,18*	3,17*	3,15*
		Temiz Su	1,84	1,77	1,78	1,80	1,56	1,55	1,58	1,53	1,30	1,30	1,33	1,29
Ortalama	S1	Atık Su	3,92*	3,98*	3,99*	3,98*	3,60*	3,60*	3,61*	3,60*	3,29*	3,31*	3,30*	3,92*
		Temiz Su	2,94	2,81	2,84	2,88	2,42	2,48	2,51	2,45	2,05	2,08	1,96	2,94
	S2	Atık Su	3,87*	3,90*	3,89*	3,90*	3,55*	3,56*	3,57*	3,56*	3,24*	3,27*	3,26*	3,87*
		Temiz Su	2,81	2,73	2,75	2,78	2,35	2,40	2,41	2,37	1,97	2,01	1,91	2,81
Ortalama	S3	Atık Su	3,66*	3,69*	3,69*	3,70*	3,36*	3,37*	3,35*	3,35*	3,18*	3,19*	3,17*	3,66*
		Temiz Su	1,89	1,83	1,83	1,85	1,56	1,60	1,61	1,58	1,32	1,34	1,28	1,89
	S4	Atık Su	3,61*	3,65*	3,63*	3,65*	3,31*	3,33*	3,30*	3,30*	3,15*	3,14*	3,12*	3,61*
		Temiz Su	1,82	1,75	1,76	1,78	1,52	1,54	1,56	1,52	1,28	1,29	1,27	1,82

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 59. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	13,67	13,61	13,70	13,72	12,18	12,22	12,19	12,24	10,43	10,48	10,46	10,44
		S2	13,74	13,68	13,77	13,79	12,24	12,28	12,25	12,30	10,48	10,53	10,51	10,49
		S3	13,70	13,64	13,73	13,75	12,21	12,25	12,22	12,27	10,46	10,51	10,49	10,47
		S4	13,68	13,62	13,71	13,73	12,19	12,23	12,20	12,25	10,44	10,49	10,47	10,45
		Ort.	13,70	13,64	13,73	13,75	12,21	12,25	12,22	12,27	10,45	10,50	10,48	10,46
	Temiz Su	S1	4,98	4,93	5,00	4,96	4,25	4,28	4,30	4,23	3,87	3,84	3,87	3,91
		S2	5,02	4,97	5,04	5,01	4,28	4,31	4,33	4,26	3,90	3,87	3,90	3,94
		S3	5,04	4,99	5,06	5,02	4,30	4,33	4,35	4,28	3,91	3,88	3,91	3,95
		S4	4,96	4,91	4,98	4,95	4,23	4,26	4,28	4,21	3,85	3,82	3,85	3,89
		Ort.	5,00	4,95	5,02	4,99	4,27	4,30	4,32	4,25	3,88	3,85	3,88	3,92
2023	Atık Su	S1	13,68	13,62	13,71	13,73	12,24	12,28	12,25	12,30	10,46	10,51	10,49	10,47
		S2	13,73	13,67	13,76	13,78	12,18	12,22	12,19	12,24	10,43	10,48	10,46	10,44
		S3	13,67	13,61	13,70	13,72	12,21	12,25	12,22	12,27	10,50	10,53	10,51	10,49
		S4	13,70	13,64	13,73	13,75	12,20	12,23	12,23	12,25	10,45	10,50	10,48	10,46
		Ort.	13,70	13,64	13,73	13,75	12,21	12,25	12,22	12,27	10,46	10,51	10,49	10,47
	Temiz Su	S1	5,00	4,95	5,02	4,99	4,26	4,29	4,31	4,24	3,88	3,85	3,88	3,92
		S2	4,94	4,89	4,96	4,93	4,21	4,24	4,26	4,19	3,83	3,80	3,83	3,87
		S3	5,01	4,96	5,04	4,99	4,28	4,31	4,33	4,26	3,90	3,87	3,90	3,94
		S4	4,94	4,89	4,96	4,92	4,22	4,25	4,27	4,20	3,84	3,81	3,84	3,88
		Ort.	4,97	4,92	5,00	4,96	4,24	4,27	4,29	4,22	3,86	3,83	3,86	3,90
Ortalama	Atık Su	S1	13,68	13,62	13,71	13,73	12,21	12,25	12,22	12,27	10,45	10,50	10,48	10,46
		S2	13,74	13,68	13,77	13,79	12,21	12,25	12,22	12,27	10,46	10,51	10,49	10,47
		S3	13,69	13,63	13,72	13,74	12,21	12,25	12,22	12,27	10,48	10,52	10,50	10,48
		S4	13,69	13,63	13,72	13,74	12,20	12,23	12,22	12,25	10,45	10,50	10,48	10,46
		Ort.	13,70	13,64	13,73	13,75	12,21	12,25	12,22	12,27	10,46	10,50	10,48	10,46
	Temiz Su	S1	4,99	4,94	5,01	4,98	4,26	4,29	4,31	4,24	3,88	3,85	3,88	3,92
		S2	4,98	4,93	5,00	4,97	4,25	4,28	4,30	4,23	3,87	3,84	3,87	3,91
		S3	5,03	4,98	5,05	5,01	4,29	4,32	4,34	4,27	3,91	3,88	3,91	3,95
		S4	4,95	4,90	4,97	4,94	4,23	4,26	4,28	4,21	3,85	3,82	3,85	3,89
		Ort.	4,99	4,94	5,01	4,98	4,26	4,29	4,31	4,24	3,88	3,85	3,88	3,92

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 60. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Mn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	13,67*	13,61*	13,70*	13,72*	12,18*	12,22*	12,19*	12,24*	10,43*	10,48*	10,46*	10,44*
		Temiz Su	4,98	4,93	5,00	4,96	4,25	4,28	4,30	4,23	3,87	3,84	3,87	3,91
	S2	Atık Su	13,74*	13,68*	13,77*	13,79*	12,24*	12,28*	12,25*	12,30*	10,48*	10,53*	10,51*	10,49*
		Temiz Su	5,02	4,97	5,04	5,01	4,28	4,31	4,33	4,26	3,90	3,87	3,90	3,94
2023	S3	Atık Su	13,70*	13,64*	13,73*	13,75*	12,21*	12,25*	12,22*	12,27*	10,46*	10,51*	10,49*	10,47*
		Temiz Su	5,04	4,99	5,06	5,02	4,30	4,33	4,35	4,28	3,91	3,88	3,91	3,95
	S4	Atık Su	13,68*	13,62*	13,71*	13,73*	12,19*	12,23*	12,20*	12,25*	10,44*	10,49*	10,47*	10,45*
		Temiz Su	4,96	4,91	4,98	4,95	4,23	4,26	4,28	4,21	3,85	3,82	3,85	3,89
Ortalama	S1	Atık Su	13,68*	13,62*	13,71*	13,73*	12,24*	12,28*	12,25*	12,30*	10,46*	10,51*	10,49*	10,47*
		Temiz Su	5,00	4,95	5,02	4,99	4,26	4,29	4,31	4,24	3,88	3,85	3,88	3,92
	S2	Atık Su	13,73*	13,67*	13,76*	13,78*	12,18*	12,22*	12,19*	12,24*	10,43*	10,48*	10,46*	10,44*
		Temiz Su	4,94	4,89	4,96	4,93	4,21	4,24	4,26	4,19	3,83	3,80	3,83	3,87
Ortalama	S3	Atık Su	13,67*	13,61*	13,70*	13,72*	12,21*	12,25*	12,22*	12,27*	10,50*	10,53*	10,51*	10,49*
		Temiz Su	5,01	4,96	5,04	4,99	4,28	4,31	4,33	4,26	3,90	3,87	3,90	3,94
	S4	Atık Su	13,70*	13,64*	13,73*	13,75*	12,20*	12,23*	12,23*	12,25*	10,45*	10,50*	10,48*	10,46*
		Temiz Su	4,94	4,89	4,96	4,92	4,22	4,25	4,27	4,20	3,84	3,81	3,84	3,88
Ortalama	S1	Atık Su	13,68*	13,62*	13,71*	13,73*	12,21*	12,25*	12,22*	12,27*	10,45*	10,50*	10,48*	10,46*
		Temiz Su	4,99	4,94	5,01	4,98	4,26	4,29	4,31	4,24	3,88	3,85	3,88	3,92
	S2	Atık Su	13,74*	13,68*	13,77*	13,79*	12,21*	12,25*	12,22*	12,27*	10,46*	10,51*	10,49*	10,47*
		Temiz Su	4,98	4,93	5,00	4,97	4,25	4,28	4,30	4,23	3,87	3,84	3,87	3,91
Ortalama	S3	Atık Su	13,69*	13,63*	13,72*	13,74*	12,21*	12,25*	12,22*	12,27*	10,48*	10,52*	10,50*	10,48*
		Temiz Su	5,03	4,98	5,05	5,01	4,29	4,32	4,34	4,27	3,91	3,88	3,91	3,95
	S4	Atık Su	13,69*	13,63*	13,72*	13,74*	12,20*	12,23*	12,22*	12,25*	10,45*	10,50*	10,48*	10,46*
		Temiz Su	4,95	4,90	4,97	4,94	4,23	4,26	4,28	4,21	3,85	3,82	3,85	3,89

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 61. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	89,93 a	89,94 a	89,99 a	89,96 a	65,59 a	65,66 a	65,64 a	65,64 a	47,90 a	47,93 a	47,93 a	47,92 a
		S2	68,90 b	68,91 b	68,95 b	68,93 b	56,65 b	56,71 b	56,70 b	56,70 b	46,03 b	46,09 b	45,94 b	46,03 b
		S3	59,35 c	59,36 c	59,40 c	59,38 c	49,42 c	49,49 c	49,32 c	49,39 c	42,55 c	42,62 c	42,65 c	42,60 c
		S4	52,95 d	52,96 d	52,99 d	52,97 d	44,87 d	44,73 d	44,68 d	44,95 d	37,22 d	37,27 d	37,23 d	37,20 d
		Ort.	67,78	67,79	67,83	67,81	54,13	54,15	54,09	54,17	43,43	43,48	43,44	43,44
	Temiz Su	S1	43,24	43,14	43,20	45,18	36,28	36,30	36,31	36,39	30,68	30,66	30,71	30,67
		S2	43,18	43,09	43,14	45,13	36,23	36,25	36,26	36,34	30,64	30,62	30,67	30,63
		S3	43,12	43,03	43,08	45,06	36,18	36,20	36,21	36,29	30,60	30,58	30,63	30,59
		S4	43,05	42,96	43,01	44,99	36,12	36,14	36,15	36,23	30,55	30,53	30,58	30,54
		Ort.	43,15	43,06	43,11	45,09	36,20	36,22	36,23	36,31	30,62	30,60	30,65	30,61
2023	Atık Su	S1	96,22 a	96,24 a	96,29 a	96,26 a	70,18 a	70,26 a	70,24 a	70,23 a	51,25 a	51,29 a	51,28 a	51,27 a
		S2	72,35 b	72,36 b	72,40 b	72,38 b	59,48 b	59,55 b	59,53 b	59,53 b	48,33 b	48,39 b	48,24 b	48,33 b
		S3	62,91 c	62,92 c	62,96 c	62,94 c	52,39 c	52,46 c	52,28 c	52,35 c	45,10 c	45,18 c	45,21 c	45,16 c
		S4	57,19 d	57,20 d	57,23 d	57,21 d	48,46 d	48,31 d	48,25 d	48,55 d	40,20 d	40,25 d	40,21 d	40,18 d
		Ort.	72,17	72,18	72,22	72,20	57,63	57,65	57,58	57,67	46,22	46,28	46,24	46,24
	Temiz Su	S1	51,89	51,77	51,84	54,22	43,54	43,56	43,57	43,67	36,82	36,79	36,85	36,80
		S2	51,82	51,71	51,77	54,16	43,48	43,50	43,51	43,61	36,77	36,74	36,80	36,76
		S3	51,74	51,64	51,70	54,07	43,42	43,44	43,45	43,55	36,72	36,70	36,76	36,71
		S4	51,66	51,55	51,61	53,99	43,34	43,37	43,38	43,48	36,66	36,64	36,70	36,65
		Ort.	51,78	51,67	51,73	54,11	43,45	43,47	43,48	43,58	36,74	36,72	36,78	36,73
Ortalama	Atık Su	S1	93,08 a	93,09 a	93,14 a	93,11 a	67,89 a	67,96 a	67,94 a	67,94 a	49,58 a	49,61 a	49,61 a	49,60 a
		S2	70,63 b	70,64 b	70,68 b	70,66 b	58,07 b	58,13 b	58,12 b	58,12 b	47,18 b	47,24 b	47,09 b	47,18 b
		S3	61,13 c	61,14 c	61,18 c	61,16 c	50,91 c	50,98 c	50,80 c	50,87 c	43,83 c	43,90 c	43,93 c	43,88 c
		S4	55,07 d	55,08 d	55,11 d	55,09 d	46,67 d	46,52 d	46,47 d	46,75 d	38,71 d	38,76 d	38,72 d	38,69 d
		Ort.	69,98	69,99	70,03	70,00	55,88	55,90	55,83	55,92	44,82	44,88	44,84	44,84
	Temiz Su	S1	47,57	47,46	47,52	49,70	39,91	39,93	39,94	40,03	33,75	33,73	33,78	33,74
		S2	47,50	47,40	47,46	49,65	39,86	39,88	39,89	39,98	33,71	33,68	33,74	33,70
		S3	47,43	47,34	47,39	49,57	39,80	39,82	39,83	39,92	33,66	33,64	33,70	33,65
		S4	47,36	47,26	47,31	49,49	39,73	39,76	39,77	39,86	33,61	33,59	33,64	33,60
		Ort.	47,46	47,36	47,42	49,60	39,82	39,85	39,86	39,95	33,68	33,66	33,71	33,67

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 62. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Zn İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	89,93*	89,94*	89,99*	89,96*	65,59*	65,66*	65,64*	65,64*	47,90*	47,93*	47,93*	47,92*
		Temiz Su	43,24	43,14	43,20	45,18	36,28	36,30	36,31	36,39	30,68	30,66	30,71	30,67
	S2	Atık Su	68,90*	68,91*	68,95*	68,93*	56,65*	56,71*	56,70*	56,70*	46,03*	46,09*	45,94*	46,03*
		Temiz Su	43,18	43,09	43,14	45,13	36,23	36,25	36,26	36,34	30,64	30,62	30,67	30,63
2023	S3	Atık Su	59,35*	59,36*	59,40*	59,38*	49,42*	49,49*	49,32*	49,39*	42,55*	42,62*	42,65*	42,60*
		Temiz Su	43,12	43,03	43,08	45,06	36,18	36,20	36,21	36,29	30,60	30,58	30,63	30,59
	S4	Atık Su	52,95*	52,96*	52,99*	52,97*	44,87*	44,73*	44,68*	44,95*	37,22*	37,27*	37,23*	37,20*
		Temiz Su	43,05	42,96	43,01	44,99	36,12	36,14	36,15	36,23	30,55	30,53	30,58	30,54
Ortalama	S1	Atık Su	96,22*	96,24*	96,29*	96,26*	70,18*	70,26*	70,24*	70,23*	51,25*	51,29*	51,28*	51,27*
		Temiz Su	51,89	51,77	51,84	54,22	43,54	43,56	43,57	43,67	36,82	36,79	36,85	36,80
	S2	Atık Su	72,35*	72,36*	72,40*	72,38*	59,48*	59,55*	59,53*	59,53*	48,33*	48,39*	48,24*	48,33*
		Temiz Su	51,82	51,71	51,77	54,16	43,48	43,50	43,51	43,61	36,77	36,74	36,80	36,76
Ortalama	S3	Atık Su	62,91*	62,92*	62,96*	62,94*	52,39*	52,46*	52,28*	52,35*	45,10*	45,18*	45,21*	45,16*
		Temiz Su	51,74	51,64	51,70	54,07	43,42	43,44	43,45	43,55	36,72	36,70	36,76	36,71
	S4	Atık Su	57,19*	57,20*	57,23*	57,21*	48,46*	48,31*	48,25*	48,55*	40,20*	40,25*	40,21*	40,18*
		Temiz Su	51,66	51,55	51,61	53,99	43,34	43,37	43,38	43,48	36,66	36,64	36,70	36,65
Ortalama	S1	Atık Su	93,08*	93,09*	93,14*	93,11*	67,89*	67,96*	67,94*	67,94*	49,58*	49,61*	49,61*	49,60*
		Temiz Su	47,57	47,46	47,52	49,70	39,91	39,93	39,94	40,03	33,75	33,73	33,78	33,74
	S2	Atık Su	70,63*	70,64*	70,68*	70,66*	58,07*	58,13*	58,12*	58,12*	47,18*	47,24*	47,09*	47,18*
		Temiz Su	47,50	47,40	47,46	49,65	39,86	39,88	39,89	39,98	33,71	33,68	33,74	33,70
Ortalama	S3	Atık Su	61,13*	61,14*	61,18*	61,16*	50,91*	50,98*	50,80*	50,87*	43,83*	43,90*	43,93*	43,88*
		Temiz Su	47,43	47,34	47,39	49,57	39,80	39,82	39,83	39,92	33,66	33,64	33,70	33,65
	S4	Atık Su	55,07*	55,08*	55,11*	55,09*	46,67*	46,52*	46,47*	46,75*	38,71*	38,76*	38,72*	38,69*
		Temiz Su	47,36	47,26	47,31	49,49	39,73	39,76	39,77	39,86	33,61	33,59	33,64	33,60

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 63. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Pb İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	2,69 a	2,67 a	2,63 a	2,65 a	2,81 a	2,85 a	2,84 a	2,83 a	3,11 a	3,16 a	3,14 a	3,09 a
		S2	2,44 b	2,48 b	2,43 b	2,45 b	2,66 b	2,61 b	2,65 b	2,62 b	2,89 b	2,91 b	2,93 b	2,94 b
		S3	2,14 c	2,15 c	2,13 c	2,16 c	2,37 c	2,32 c	2,36 c	2,34 c	2,68 c	2,66 c	2,65 c	2,67 c
		S4	1,87 d	1,91 d	1,90 d	1,88 d	2,12 d	2,15 d	2,14 d	2,16 d	2,42 d	2,45 d	2,41 d	2,46 d
		Ort.	2,29	2,30	2,27	2,29	2,49	2,48	2,50	2,49	2,78	2,80	2,78	2,79
	Temiz Su	S1	0,72	0,72	0,74	0,71	0,90	0,92	0,88	0,89	1,12	1,11	1,13	1,09
		S2	0,74	0,73	0,72	0,70	0,89	0,90	0,91	0,87	1,10	1,12	1,10	1,12
		S3	0,71	0,73	0,69	0,70	0,86	0,87	0,87	0,85	1,08	1,09	1,06	1,08
		S4	0,70	0,72	0,71	0,72	0,87	0,90	0,92	0,86	1,07	1,12	1,11	1,10
		Ort.	0,72	0,73	0,72	0,71	0,88	0,90	0,90	0,87	1,09	1,11	1,10	1,10
2023	Atık Su	S1	2,71 a	2,69 a	2,65 a	2,67 a	2,83 a	2,87 a	2,86 a	2,85 a	3,13 a	3,19 a	3,17 a	3,11 a
		S2	2,46 b	2,50 b	2,45 b	2,47 b	2,69 b	2,64 b	2,68 b	2,65 b	2,92 b	2,94 b	2,96 b	2,97 b
		S3	2,15 c	2,16 c	2,14 c	2,17 c	2,38 c	2,39 c	2,37 c	2,35 c	2,70 c	2,68 c	2,67 c	2,69 c
		S4	2,04 d	2,08 d	2,07 d	2,05 d	2,21 d	2,24 d	2,23 d	2,25 d	2,51 d	2,54 d	2,53 d	2,52 d
		Ort.	2,34	2,36	2,33	2,34	2,53	2,54	2,54	2,53	2,82	2,84	2,83	2,82
	Temiz Su	S1	0,69	0,72	0,68	0,70	0,85	0,87	0,88	0,84	1,05	1,10	1,08	1,06
		S2	0,73	0,72	0,72	0,71	0,89	0,92	0,89	0,88	1,10	1,12	1,11	1,08
		S3	0,71	0,74	0,70	0,72	0,88	0,90	0,91	0,87	1,08	1,13	1,11	1,09
		S4	0,70	0,72	0,69	0,71	0,87	0,89	0,89	0,88	1,08	1,10	1,09	1,10
		Ort.	0,71	0,73	0,70	0,71	0,87	0,90	0,89	0,87	1,08	1,11	1,10	1,08
Ortalama	Atık Su	S1	2,70 a	2,68 a	2,64 a	2,66 a	2,82 a	2,86 a	2,85 a	2,84 a	3,12 a	3,18 a	3,16 a	3,10 a
		S2	2,45 b	2,49 b	2,44 b	2,46 b	2,68 b	2,63 b	2,67 b	2,64 b	2,91 b	2,93 b	2,95 b	2,96 b
		S3	2,15 c	2,16 c	2,14 c	2,17 c	2,38 c	2,36 c	2,37 c	2,35 c	2,69 c	2,67 c	2,66 c	2,68 c
		S4	1,96 d	2,00 d	1,99 d	1,97 d	2,17 d	2,20 d	2,19 d	2,21 d	2,47 d	2,50 d	2,47 d	2,49 d
		Ort.	2,31	2,33	2,30	2,31	2,51	2,51	2,52	2,51	2,80	2,82	2,81	2,81
	Temiz Su	S1	0,71	0,73	0,70	0,71	0,87	0,90	0,89	0,87	1,08	1,11	1,10	1,08
		S2	0,70	0,73	0,71	0,72	0,88	0,91	0,90	0,88	1,09	1,12	1,12	1,09
		S3	0,73	0,73	0,72	0,71	0,87	0,92	0,90	0,87	1,08	1,11	1,11	1,10
		S4	0,70	0,72	0,71	0,72	0,86	0,91	0,89	0,87	1,08	1,11	1,11	1,08
		Ort.	0,72	0,73	0,70	0,70	0,88	0,90	0,89	0,87	1,08	1,11	1,10	1,10

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 64. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Pb İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	2,69*	2,67*	2,63*	2,65*	2,81*	2,85*	2,84*	2,83*	3,11*	3,16*	3,14*	3,09*
		Temiz Su	0,72	0,72	0,74	0,71	0,90	0,92	0,88	0,89	1,12	1,11	1,13	1,09
	S2	Atık Su	2,44*	2,48*	2,43*	2,45*	2,66*	2,61*	2,65*	2,62*	2,89*	2,91*	2,93*	2,94*
		Temiz Su	0,74	0,73	0,72	0,70	0,89	0,90	0,91	0,87	1,10	1,12	1,10	1,12
2023	S3	Atık Su	2,14*	2,15*	2,13*	2,16*	2,37*	2,32*	2,36*	2,34*	2,68*	2,66*	2,65*	2,67*
		Temiz Su	0,71	0,73	0,69	0,70	0,86	0,87	0,87	0,85	1,08	1,09	1,06	1,08
	S4	Atık Su	1,87*	1,91*	1,90*	1,88*	2,12*	2,15*	2,14*	2,16*	2,42*	2,45*	2,41*	2,46*
		Temiz Su	0,70	0,72	0,71	0,72	0,87	0,90	0,92	0,86	1,07	1,12	1,11	1,10
Ortalama	S1	Atık Su	2,71*	2,69*	2,65*	2,67*	2,83*	2,87*	2,86*	2,85*	3,13*	3,19*	3,17*	3,11*
		Temiz Su	0,69	0,72	0,68	0,70	0,85	0,87	0,88	0,84	1,05	1,10	1,08	1,06
	S2	Atık Su	2,46*	2,50*	2,45*	2,47*	2,69*	2,64*	2,68*	2,65*	2,92*	2,94*	2,96*	2,97*
		Temiz Su	0,73	0,72	0,72	0,71	0,89	0,92	0,89	0,88	1,10	1,12	1,11	1,08
Ortalama	S3	Atık Su	2,15*	2,16*	2,14*	2,17*	2,38*	2,39*	2,37*	2,35*	2,70*	2,68*	2,67*	2,69*
		Temiz Su	0,71	0,74	0,70	0,72	0,88	0,90	0,91	0,87	1,08	1,13	1,11	1,09
	S4	Atık Su	2,04*	2,08*	2,07*	2,05*	2,21*	2,24*	2,23*	2,25*	2,51*	2,54*	2,53*	2,52*
		Temiz Su	0,70	0,72	0,69	0,71	0,87	0,89	0,89	0,88	1,08	1,10	1,09	1,10
Ortalama	S1	Atık Su	2,70*	2,68*	2,64*	2,66*	2,82*	2,86*	2,85*	2,84*	3,12*	3,18*	3,16*	3,10*
		Temiz Su	0,71	0,73	0,70	0,71	0,87	0,90	0,89	0,87	1,08	1,11	1,10	1,08
	S2	Atık Su	2,45*	2,49*	2,44*	2,46*	2,68*	2,63*	2,67*	2,64*	2,91*	2,93*	2,95*	2,96*
		Temiz Su	0,70	0,73	0,71	0,72	0,88	0,91	0,90	0,88	1,09	1,12	1,12	1,09
Ortalama	S3	Atık Su	2,15*	2,16*	2,14*	2,17*	2,38*	2,36*	2,37*	2,35*	2,69*	2,67*	2,66*	2,68*
		Temiz Su	0,73	0,73	0,72	0,71	0,87	0,92	0,90	0,87	1,08	1,11	1,11	1,10
	S4	Atık Su	1,96*	2,00*	1,99*	1,97*	2,17*	2,20*	2,19*	2,21*	2,47*	2,50*	2,47*	2,49*
		Temiz Su	0,70	0,72	0,71	0,72	0,86	0,91	0,89	0,87	1,08	1,11	1,11	1,08

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 65. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cd İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	0,051 a	0,052 a	0,053 a	0,052 a	0,043 a	0,042 a	0,042 a	0,042 a	0,037 a	0,036 a	0,037 a	0,036 a
		S2	0,046 b	0,046 b	0,045 b	0,046 b	0,037 b	0,036 b	0,037 b	0,037 b	0,031 b	0,032 b	0,032 b	0,031 b
		S3	0,036 c	0,037 c	0,037 c	0,036 c	0,031 c	0,030 c	0,030 c	0,031 c	0,025 c	0,026 c	0,026 c	0,025 c
		S4	0,032 d	0,033 d	0,032 d	0,033 d	0,026 d	0,026 d	0,026 d	0,026 d	0,019 d	0,020 d	0,019 d	0,020 d
		Ort.	0,041	0,042	0,042	0,042	0,034	0,034	0,034	0,034	0,028	0,029	0,029	0,028
	Temiz Su	S1	0,029	0,028	0,029	0,028	0,017	0,018	0,017	0,018	0,013	0,015	0,014	0,015
		S2	0,028	0,027	0,028	0,026	0,018	0,019	0,018	0,019	0,014	0,016	0,016	0,016
		S3	0,029	0,028	0,029	0,028	0,017	0,018	0,017	0,016	0,015	0,015	0,014	0,014
		S4	0,028	0,027	0,028	0,027	0,016	0,017	0,018	0,017	0,016	0,014	0,015	0,016
		Ort.	0,029	0,028	0,029	0,027	0,017	0,018	0,018	0,017	0,014	0,015	0,015	0,015
2023	Atık Su	S1	0,058 a	0,059 a	0,057 a	0,058 a	0,049 a	0,047 a	0,048 a	0,049 a	0,044 a	0,043 a	0,043 a	0,044 a
		S2	0,052 b	0,051 b	0,051 b	0,052 b	0,042 b	0,042 b	0,043 b	0,043 b	0,037 b	0,038 b	0,037 b	0,038 b
		S3	0,042 c	0,041 c	0,042 c	0,042 c	0,035 c	0,034 c	0,034 c	0,035 c	0,030 c	0,030 c	0,029 c	0,029 c
		S4	0,038 d	0,037 d	0,038 d	0,038 d	0,029 d	0,029 d	0,028 d	0,029 d	0,026 d	0,026 d	0,025 d	0,026 d
		Ort.	0,048	0,047	0,047	0,048	0,039	0,038	0,038	0,039	0,034	0,034	0,034	0,034
	Temiz Su	S1	0,034	0,033	0,034	0,033	0,025	0,025	0,026	0,024	0,022	0,020	0,022	0,021
		S2	0,033	0,032	0,033	0,035	0,024	0,026	0,026	0,025	0,020	0,019	0,021	0,020
		S3	0,035	0,034	0,032	0,033	0,026	0,024	0,025	0,026	0,021	0,021	0,020	0,021
		S4	0,033	0,033	0,035	0,032	0,024	0,023	0,025	0,026	0,022	0,021	0,021	0,020
		Ort.	0,034	0,033	0,034	0,034	0,026	0,026	0,025	0,025	0,021	0,021	0,021	0,021
Ortalama	Atık Su	S1	0,055 a	0,056 a	0,055 a	0,055 a	0,046 a	0,045 a	0,045 a	0,046 a	0,041 a	0,040 a	0,040 a	0,040 a
		S2	0,049 b	0,049 b	0,048 b	0,049 b	0,040 b	0,039 b	0,040 b	0,040 b	0,034 b	0,035 b	0,035 b	0,035 b
		S3	0,039 c	0,039 c	0,040 c	0,039 c	0,033 c	0,032 c	0,032 c	0,033 c	0,028 c	0,028 c	0,028 c	0,027 c
		S4	0,035 d	0,035 d	0,035 d	0,036 d	0,028 d	0,028 d	0,027 d	0,028 d	0,023 d	0,023 d	0,022 d	0,023d
		Ort.	0,044	0,045	0,044	0,045	0,037	0,036	0,036	0,037	0,031	0,031	0,031	0,031
	Temiz Su	S1	0,032	0,031	0,032	0,031	0,021	0,021	0,021	0,022	0,018	0,018	0,018	0,018
		S2	0,031	0,030	0,031	0,030	0,022	0,022	0,022	0,021	0,017	0,017	0,019	0,019
		S3	0,032	0,031	0,032	0,031	0,021	0,022	0,021	0,021	0,018	0,016	0,017	0,017
		S4	0,030	0,030	0,031	0,030	0,022	0,021	0,022	0,022	0,017	0,019	0,019	0,019
		Ort.	0,031	0,030	0,031	0,030	0,021	0,022	0,022	0,021	0,018	0,018	0,018	0,018

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 66. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cd İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0,051*	0,052*	0,053*	0,052*	0,043*	0,042*	0,042*	0,042*	0,037*	0,036*	0,037*	0,036*
		Temiz Su	0,029	0,028	0,029	0,028	0,017	0,018	0,017	0,018	0,014	0,015	0,014	0,015
	S2	Atık Su	0,046*	0,046*	0,045*	0,046*	0,037*	0,036*	0,037*	0,037*	0,031*	0,032*	0,032*	0,031*
		Temiz Su	0,028	0,027	0,028	0,026	0,017	0,018	0,018	0,017	0,014	0,015	0,016	0,016
2023	S3	Atık Su	0,036*	0,037*	0,037*	0,036*	0,031*	0,030*	0,030*	0,031*	0,025*	0,026*	0,026*	0,025*
		Temiz Su	0,029	0,028	0,029	0,028	0,017	0,018	0,018	0,017	0,015	0,015	0,014	0,014
	S4	Atık Su	0,032*	0,033*	0,032*	0,033*	0,026*	0,026*	0,026*	0,026*	0,019*	0,020*	0,019*	0,020*
		Temiz Su	0,028	0,027	0,028	0,027	0,017	0,018	0,018	0,017	0,014	0,015	0,016	0,016
2022-2023	S1	Atık Su	0,058*	0,059*	0,057*	0,058*	0,049*	0,047*	0,048*	0,049*	0,044*	0,043*	0,043*	0,044*
		Temiz Su	0,034	0,033	0,034	0,033	0,025	0,026	0,025	0,025	0,021	0,020	0,022	0,021
	S2	Atık Su	0,052*	0,051*	0,051*	0,052*	0,042*	0,042*	0,043*	0,043*	0,037*	0,038*	0,037*	0,038*
		Temiz Su	0,033	0,033	0,034	0,034	0,026	0,026	0,025	0,025	0,020	0,020	0,021	0,021
2022-2023	S3	Atık Su	0,042*	0,041*	0,042*	0,042*	0,035*	0,034*	0,034*	0,035*	0,030*	0,030*	0,029*	0,029*
		Temiz Su	0,034	0,034	0,034	0,033	0,025	0,026	0,026	0,025	0,021	0,021	0,020	0,021
	S4	Atık Su	0,038*	0,037*	0,038*	0,038*	0,029*	0,029*	0,028*	0,029*	0,026*	0,026*	0,025*	0,026*
		Temiz Su	0,033	0,033	0,034	0,034	0,026	0,026	0,025	0,026	0,021	0,021	0,021	0,021
2022-2023	S1	Atık Su	0,055*	0,056*	0,055*	0,055*	0,046*	0,045*	0,045*	0,046*	0,041*	0,040*	0,040*	0,040*
		Temiz Su	0,032	0,031	0,032	0,031	0,021	0,022	0,021	0,022	0,018	0,018	0,018	0,032
	S2	Atık Su	0,049*	0,049*	0,048*	0,049*	0,040*	0,039*	0,040*	0,040*	0,034*	0,035*	0,035*	0,035*
		Temiz Su	0,031	0,030	0,031	0,030	0,022	0,022	0,022	0,021	0,017	0,018	0,019	0,031
2022-2023	S3	Atık Su	0,039*	0,039*	0,040*	0,039*	0,033*	0,032*	0,032*	0,033*	0,028*	0,028*	0,028*	0,027*
		Temiz Su	0,032	0,031	0,032	0,031	0,021	0,022	0,022	0,021	0,018	0,018	0,017	0,032
	S4	Atık Su	0,035*	0,035*	0,035*	0,036*	0,028*	0,028*	0,027*	0,028*	0,023*	0,023*	0,022*	0,023*
		Temiz Su	0,031	0,030	0,031	0,031	0,022	0,022	0,022	0,022	0,018	0,018	0,019	0,031

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: $p < 0.05$ önemlidir.

Tablo 67. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Cr İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
							R0	R1	R2	R3				
2022	Atık Su	S1	0,88 a	0,86 a	0,87 a	0,85 a	0,73 a	0,74 a	0,72 a	0,75 a	0,62 a	0,65 a	0,64 a	0,63 a
		S2	0,86 a	0,85 a	0,84 a	0,83 a	0,74 a	0,71 a	0,73 a	0,71 a	0,63 a	0,61 a	0,60 a	0,62 a
		S3	0,78 b	0,72 b	0,75 b	0,76 b	0,65 b	0,62 b	0,61 b	0,66 b	0,55 b	0,50 b	0,51 b	0,53 b
		S4	0,74 b	0,78 b	0,77 b	0,74 b	0,65 b	0,63 b	0,60 b	0,61 b	0,56 b	0,52 b	0,52 b	0,51 b
		Ort.	0,82	0,80	0,81	0,80	0,69	0,68	0,67	18,26	0,59	0,57	0,57	0,57
	Temiz Su	S1	0,70	0,68	0,71	0,67	0,54	0,54	0,52	0,52	0,46	0,42	0,43	0,42
		S2	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,45	0,47	0,43	0,44
		S3	0,68	0,66	0,69	0,65	0,51	0,50	0,52	0,56	0,44	0,45	0,44	0,41
		S4	0,67	0,69	0,72	0,69	0,51	0,52	0,54	0,53	0,46	0,43	0,41	0,42
		Ort.	0,69	0,68	0,71	0,67	0,52	0,52	0,52	0,53	0,45	0,44	0,43	0,42
2023	Atık Su	S1	0,85 a	0,89 a	0,88 a	0,85 a	0,76 a	0,74 a	0,71 a	0,72 a	0,67 a	0,62 a	0,61 a	0,61 a
		S2	0,88 a	0,83 a	0,86 a	0,87 a	0,76 a	0,73 a	0,72 a	0,77 a	0,66 a	0,60 a	0,61 a	0,64 a
		S3	0,77 b	0,74 b	0,75 b	0,74 b	0,63 b	0,61 b	0,62 b	0,64 b	0,54 b	0,51 b	0,50 b	0,53 b
		S4	0,75 b	0,77 b	0,76 b	0,75 b	0,66 b	0,64 b	0,65 b	0,61 b	0,53 b	0,53 b	0,52 b	0,54 b
		Ort.	0,81	0,81	0,81	0,80	0,70	0,68	0,68	0,69	0,60	0,57	0,56	0,58
	Temiz Su	S1	0,68	0,66	0,69	0,65	0,52	0,51	0,50	0,52	0,46	0,44	0,45	0,44
		S2	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,44	0,46	0,42	0,43
		S3	0,67	0,69	0,72	0,69	0,51	0,52	0,54	0,53	0,46	0,43	0,41	0,42
		S4	0,70	0,68	0,71	0,67	0,54	0,54	0,52	0,52	0,45	0,47	0,43	0,44
		Ort.	0,69	0,68	0,71	0,67	0,53	0,53	0,52	0,52	0,45	0,45	0,43	0,43
Ortalama	Atık Su	S1	0,87 a	0,88 a	0,88 a	0,85 a	0,74 a	0,74 a	0,72 a	0,74 a	0,67 a	0,64 a	0,63 a	0,62 a
		S2	0,87 a	0,84 a	0,85 a	0,85 a	0,75 a	0,72 a	0,73 a	0,74 a	0,66 a	0,61 a	0,61 a	0,63 a
		S3	0,78 b	0,75 b	0,75 b	0,75 b	0,64 b	0,62 b	0,62 b	0,65 b	0,54 b	0,51 b	0,51 b	0,53 b
		S4	0,75 b	0,78 b	0,77 b	0,75 b	0,66 b	0,64 b	0,63 b	0,61 b	0,53 b	0,53 b	0,52 b	0,53 b
		Ort.	0,81	0,81	0,81	0,80	0,70	0,68	0,67	0,68	0,60	0,57	0,56	0,58
	Temiz Su	S1	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,52	0,46	0,43	0,44	0,43
		S2	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,45	0,47	0,43	0,44
		S3	0,68	0,68	0,71	0,67	0,51	0,51	0,53	0,55	0,45	0,44	0,43	0,42
		S4	0,69	0,69	0,72	0,68	0,53	0,53	0,53	0,53	0,46	0,45	0,42	0,43
		Ort.	0,69	0,68	0,71	0,67	0,52	0,52	0,52	0,53	0,45	0,45	0,43	0,43

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 68. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Cr İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0,88*	0,86*	0,87*	0,85*	0,73*	0,74*	0,72*	0,75*	0,62*	0,65*	0,64*	0,63*
		Temiz Su	0,70	0,68	0,71	0,67	0,54	0,54	0,52	0,52	0,46	0,42	0,43	0,42
	S2	Atık Su	0,86*	0,85*	0,84*	0,83*	0,74*	0,71*	0,73*	0,71*	0,63*	0,61*	0,60*	0,62*
		Temiz Su	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,45	0,47	0,43	0,44
2023	S3	Atık Su	0,78*	0,72*	0,75*	0,76*	0,65*	0,62*	0,61*	0,66*	0,55*	0,50*	0,51*	0,53*
		Temiz Su	0,68	0,66	0,69	0,65	0,51	0,50	0,52	0,56	0,44	0,45	0,44	0,41
	S4	Atık Su	0,74*	0,78*	0,77*	0,74*	0,65*	0,63*	0,62*	0,61*	0,56*	0,52*	0,52*	0,51*
		Temiz Su	0,67	0,69	0,72	0,69	0,51	0,52	0,54	0,53	0,46	0,43	0,41	0,42
Ortalama	S1	Atık Su	0,85*	0,89*	0,88*	0,85*	0,76*	0,74*	0,71*	0,72*	0,67*	0,62*	0,61*	0,61*
		Temiz Su	0,68	0,66	0,69	0,65	0,52	0,51	0,50	0,52	0,46	0,44	0,45	0,44
	S2	Atık Su	0,88*	0,83*	0,86*	0,87*	0,76*	0,73*	0,72*	0,77*	0,66*	0,60*	0,61*	0,64*
		Temiz Su	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,44	0,46	0,42	0,43
Ortalama	S3	Atık Su	0,77*	0,74 *	0,75*	0,74*	0,63*	0,61*	0,62*	0,64*	0,54*	0,51*	0,50*	0,53*
		Temiz Su	0,67	0,69	0,72	0,69	0,51	0,52	0,54	0,53	0,46	0,43	0,41	0,42
	S4	Atık Su	0,75*	0,77*	0,76*	0,75*	0,66*	0,64*	0,65*	0,61*	0,53*	0,53*	0,52*	0,54*
		Temiz Su	0,70	0,68	0,71	0,67	0,54	0,54	0,52	0,52	0,45	0,47	0,43	0,44
Ortalama	S1	Atık Su	0,87*	0,88*	0,88*	0,85*	0,75*	0,74*	0,72*	0,74*	0,65*	0,64*	0,63*	0,62*
		Temiz Su	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,52	0,46	0,43	0,44	0,43
	S2	Atık Su	0,87*	0,84*	0,85*	0,85*	0,75*	0,72*	0,73*	0,74*	0,65*	0,61*	0,61*	0,63*
		Temiz Su	0,69	0,67	0,70	0,66	0,53	0,53	0,51	0,51	0,45	0,47	0,43	0,44
Ortalama	S3	Atık Su	0,78*	0,75*	0,75*	0,75*	0,64*	0,62*	0,62*	0,65*	0,54*	0,51*	0,51*	0,53*
		Temiz Su	0,68	0,68	0,71	0,67	0,51	0,51	0,53	0,55	0,45	0,44	0,43	0,42
	S4	Atık Su	0,75*	0,78*	0,77*	0,75*	0,66*	0,64*	0,63*	0,61*	0,53*	0,53*	0,52*	0,53*
		Temiz Su	0,69	0,69	0,72	0,68	0,53	0,53	0,53	0,53	0,46	0,45	0,42	0,43

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Tablo 69. Farklı Sulama Seviyesi ve Bakteri Uygulamalarının Toprak Derinliğinde Ni İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Su Kalitesi	Sulama Suyu Seviyesi	0-30				30-60				60-90			
							Bakteri Uygulamaları							
			R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3	R0	R1	R2	R3
2022	Atık Su	S1	0,98 a	0,96 a	0,95 a	0,97 a	0,86 a	0,84 a	0,83 a	0,85 a	0,79 a	0,78 a	0,76 a	0,75 a
		S2	0,91 b	0,92 b	0,90 b	0,91 b	0,74 b	0,76 b	0,72 b	0,74 b	0,63 b	0,62 b	0,60 b	0,64 b
		S3	0,75 c	0,74 c	0,73 c	0,76 c	0,68 c	0,66 c	0,65 c	0,65 c	0,54 c	0,55 c	0,55 c	0,56 c
		S4	0,70 d	0,69 d	0,68 d	0,70 d	0,60 d	0,61 d	0,60 d	0,60 d	0,50 d	0,50 d	0,51 d	0,51 d
		Ort.	0,84	0,83	0,82	0,84	0,72	0,72	0,70	0,71	0,62	0,61	0,60	0,61
	Temiz Su	S1	0,42	0,43	0,41	0,44	0,37	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,36	0,35
		S2	0,41	0,42	0,42	0,41	0,36	0,39	0,38	0,39	0,34	0,35	0,35	0,36
		S3	0,42	0,44	0,43	0,44	0,38	0,38	0,37	0,38	0,35	0,32	0,35	0,33
		S4	0,41	0,41	0,41	0,43	0,36	0,36	0,38	0,37	0,35	0,35	0,34	0,34
		Ort.	0,42	0,43	0,42	0,43	0,37	0,38	0,38	0,38	0,35	0,34	0,35	0,35
2023	Atık Su	S1	1,05 a	1,08 a	1,10 a	1,07 a	0,96 a	0,98 a	0,95 a	0,94 a	0,87 a	0,88 a	0,85 a	0,87 a
		S2	0,98 b	0,96 b	0,97 b	0,95 b	0,85 b	0,84 b	0,86 b	0,83 b	0,78 b	0,76 b	0,77 b	0,78 b
		S3	0,86 c	0,87 c	0,88 c	0,86 c	0,78 c	0,76 c	0,78 c	0,75 c	0,68 c	0,69 c	0,66 c	0,67 c
		S4	0,85 c	0,87 c	0,84 c	0,86 c	0,75 c	0,77 c	0,77 c	0,76	0,66 c	0,67 c	0,65 c	0,66 c
		Ort.	0,94	0,95	0,95	0,94	0,84	0,84	0,84	0,82	0,75	0,75	0,73	0,75
	Temiz Su	S1	0,46	0,47	0,46	0,46	0,41	0,41	0,42	0,41	0,38	0,38	0,38	0,39
		S2	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,42	0,41	0,42	0,39	0,39	0,40	0,37
		S3	0,46	0,48	0,45	0,45	0,43	0,41	0,43	0,41	0,38	0,38	0,39	0,40
		S4	0,45	0,46	0,47	0,46	0,41	0,43	0,41	0,43	0,37	0,40	0,38	0,38
		Ort.	0,46	0,47	0,46	0,45	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,39	0,39	0,39
Ortalama	Atık Su	S1	1,02 a	1,02 a	1,03 a	1,02 a	0,91 a	0,91 a	0,89 a	0,90 a	0,83 a	0,83 a	0,81 a	0,81 a
		S2	0,95 b	0,94 b	0,94 b	0,93 b	0,80 b	0,80 b	0,79 b	0,79 b	0,71 b	0,69 b	0,69 b	0,71 b
		S3	0,81 c	0,81 c	0,81 c	0,81 c	0,73 c	0,71 c	0,71 c	0,70 c	0,61 c	0,62 c	0,60 c	0,61 c
		S4	0,78 c	0,78 c	0,77 c	0,78 c	0,69 c	0,69 c	0,69 c	0,68 c	0,58 c	0,59 c	0,58 c	0,59 c
		Ort.	0,89	0,89	0,88	0,89	0,78	0,78	0,77	0,77	0,68	0,68	0,67	0,68
	Temiz Su	S1	0,44	0,45	0,44	0,45	0,39	0,40	0,40	0,39	0,37	0,36	0,37	0,37
		S2	0,44	0,44	0,42	0,43	0,39	0,41	0,40	0,41	0,36	0,37	0,38	0,38
		S3	0,45	0,46	0,43	0,45	0,41	0,40	0,40	0,40	0,37	0,36	0,37	0,37
		S4	0,43	0,44	0,45	0,45	0,39	0,40	0,40	0,40	0,36	0,38	0,36	0,36
		Ort.	0,44	0,45	0,44	0,44	0,39	0,40	0,40	0,40	0,36	0,37	0,37	0,37

Aynı sütundaki farklı küçük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te sulama seviyeleri ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. İzleyen satırdaki farklı büyük harfler Duncan Testine göre $p \leq 0.05$ 'te bakteri uygulamalarının ortalamaları (Ortalama $\pm$ SH) arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Tablo 70. Arıtılmış Atık Su ve Temiz Su Koşullarında Yetiştirilen Toprak Derinliğinde Ni İçeriğine (mg/kg) Etkisi

Yıl	Sulama Suyu Seviyesi	Su Kalitesi	0-30				30-60				60-90			
			R0	R1	R2	R3	Bakteri Uygulamaları				R0	R1	R2	R3
2022	S1	Atık Su	0,98*	0,96*	0,95*	0,97*	0,86*	0,84*	0,83*	0,85*	0,79*	0,78*	0,76*	0,75*
		Temiz Su	0,42	0,43	0,41	0,44	0,37	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,36	0,35
	S2	Atık Su	0,91*	0,92*	0,90*	0,91*	0,74*	0,76*	0,72*	0,74*	0,63*	0,62*	0,60*	0,64*
		Temiz Su	0,41	0,42	0,42	0,41	0,36	0,39	0,38	0,39	0,34	0,35	0,35	0,36
	S3	Atık Su	0,75*	0,74*	0,73*	0,76*	0,68*	0,66*	0,64*	0,65*	0,54*	0,55*	0,54*	0,54*
		Temiz Su	0,42	0,44	0,43	0,44	0,38	0,38	0,37	0,38	0,35	0,33	0,35	0,33
	S4	Atık Su	0,70*	0,69*	0,68*	0,70*	0,60*	0,61*	0,60*	0,60*	0,50*	0,50*	0,51*	0,51*
		Temiz Su	0,41	0,41	0,41	0,43	0,36	0,36	0,38	0,37	0,35	0,35	0,34	0,34
2023	S1	Atık Su	1,05*	1,08*	1,10*	1,07*	0,96*	0,98*	0,95*	0,94*	0,87*	0,88*	0,85*	0,87*
		Temiz Su	0,46	0,47	0,46	0,46	0,41	0,41	0,42	0,41	0,38	0,38	0,38	0,39
	S2	Atık Su	0,98*	0,96*	0,97*	0,95*	0,85*	0,84*	0,86*	0,83*	0,78*	0,76*	0,77*	0,78*
		Temiz Su	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,42	0,41	0,42	0,39	0,39	0,40	0,37
	S3	Atık Su	0,86*	0,87*	0,88*	0,86*	0,78*	0,76*	0,78*	0,75*	0,68*	0,69*	0,66*	0,67*
		Temiz Su	0,46	0,48	0,45	0,45	0,43	0,41	0,43	0,41	0,38	0,38	0,39	0,40
	S4	Atık Su	0,85*	0,87*	0,84*	0,86*	0,75*	0,77*	0,77*	0,76*	0,66*	0,67*	0,65*	0,66*
		Temiz Su	0,45	0,46	0,47	0,46	0,41	0,43	0,41	0,43	0,37	0,40	0,38	0,38
Ortalama	S1	Atık Su	1,02*	1,02*	1,03*	1,02*	0,91*	0,91*	0,89*	0,90*	0,83*	0,83*	0,81*	0,81*
		Temiz Su	0,44	0,45	0,44	0,45	0,39	0,40	0,40	0,39	0,37	0,36	0,37	0,37
	S2	Atık Su	0,95*	0,94*	0,94*	0,93*	0,80*	0,80*	0,79*	0,79*	0,71*	0,69*	0,69*	0,71*
		Temiz Su	0,44	0,44	0,44	0,43	0,39	0,41	0,40	0,41	0,37	0,37	0,38	0,37
	S3	Atık Su	0,81*	0,81*	0,81*	0,81*	0,73*	0,71*	0,71*	0,70*	0,61*	0,62*	0,60*	0,61*
		Temiz Su	0,45	0,46	0,44	0,45	0,41	0,40	0,40	0,40	0,37	0,36	0,37	0,37
	S4	Atık Su	0,78*	0,78*	0,76*	0,78*	0,68*	0,69*	0,69*	0,68*	0,58*	0,59*	0,58*	0,59*
		Temiz Su	0,43	0,44	0,44	0,45	0,39	0,40	0,40	0,40	0,36	0,38	0,36	0,36

ns: istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *: p<0.05 önemlidir.

Denemede farklı derinliklerinde ölçülen demir (Fe) miktarı Tablo 55 ve 56'da verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Fe miktarı içerikleri incelendiğinde 2022 yılında 5,18-35,5 mg/kg arasında değerler alırken, en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R3 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 5,69- 47,8 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R0 konusunda elde edilmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve su kaynakları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulamaları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da sulama suyu miktarı artıkça Fe içeriğinin arttığı görülmektedir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz suya göre tüm konularda Fe içeriğini artırdığı görülmektedir.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen bakır (Cu) miktarı Tablo 57 ve 58'de verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Cu miktarı içerikleri incelendiğinde 2022 yılında 1,20-3,92 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R2 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R3 konusunda elde edilmiştir. 2023 yılında 1,29-4,05 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R3 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R3 konusunda belirlenmiştir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri ve su kaynakları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, bakteri uygulamaları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da sulama suyu miktarı artıkça Cu içeriğinin arttığı görülmekte olup, S1 ile S2 ve S3 ile S4 konuları arasında istatistiksel olarak benzerlik olduğu belirlenmiştir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz suya göre tüm konularda Cu içeriğini artırdığı görülmektedir.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen manganez (Mn) miktarı Tablo 59 ve 60'da verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Mn içerikleri incelendiğinde 2022 yılında 3,82-13,79 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S2R3 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R1 konusunda elde edilmiştir. Mn konsantrasyonları 2023 yılında 3,81-13,78 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S2R3 konusunda, en düşük değer 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R1 konusunda belirlenmiştir. İki yıl ortalaması incelendiğinde Mn içerik değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık su ve

temiz suyun sulama düzeyleri ve bakteri uygulamaları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamalarının, temiz suya göre tüm konularda Mn içeriğini artırdığı görülmektedir.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen çinko (Zn) miktarı Tablo 61 ve 62’de verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Zn konsantrasyonları incelendiğinde 2022 yılında 30,53-89,99 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R2 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R1 konusunda elde edilmiştir. Zn konsantrasyonları 2023 yılında 36,65-96,29 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R2 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R3 konusunda belirlenmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, temiz suyun sulama düzeyleri ve tüm konuların bakteri uygulamaları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da arıtılmış atık su ile sulama suyu miktarı artıkça Zn konsantrasyonları artmakta olup, temiz su koşullarına ait sulama seviyesi konularının istatistiksel olarak benzer olduğu görülmektedir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda Zn konsantrasyonlarını artırdığı görülmektedir.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen kurşun (Pb) konsantrasyonları Tablo 63 ve 64’de verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Pb konsantrasyonları incelendiğinde 2022 yılında 0,70-3,16 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 60-90 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise 0-30 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S3R2 konusunda belirlenmiştir. Pb konsantrasyonları 2023 yılında 0,68-3,19 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 60-90 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer 0-30 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S1R2 konusunda belirlenmiştir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, temiz suyun sulama düzeyleri ve tüm konuların bakteri uygulama sayıları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılında da arıtılmış atık su ile sulama suyu miktarı artıkça Pb konsantrasyonları artmakta olup, temiz su koşullarına ait sulama seviyesi konularının istatistiksel olarak benzer olduğu görülmektedir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda Pb konsantrasyonlarını artırmıştır.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen kadmiyum (Cd) miktarı Tablo 65 ve 66’da verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Cd konsantrasyonları incelendiğinde 2022 yılında 0,014-0,053 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak

derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R2 konusunda, en düşük değer 60-90 cm toprak derinliğinde temiz su uygulaması olan S1R0 konusunda belirlenmiştir. Cd konsantrasyonları 2023 yılında 0,019-0,059 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S2R1 konusunda belirlenmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, temiz suyun sulama düzeyleri ve tüm konuların bakteri uygulama sayısı arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmmanın her iki yılında da arıtılmış atık su ile sulama suyu miktarı arttıkça Cd konsantrasyonu artmakta olup, temiz su koşullarına ait sulama seviyesi konularının istatistiksel olarak benzer olduğu görülmektedir. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda Cd konsantrasyonlarını artırmıştır.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen krom (Cr) miktarı Tablo 67 ve 68’de verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Cr konsantrasyonları incelendiğinde 2022 yılında 0,41-0,88 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R0 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm toprak derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R2 konusunda belirlenmiştir. Cr konsantrasyonları 2023 yılında 0,41-0,89 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm derinliğinde temiz su uygulaması olan S3R2 konusunda belirlenmiştir. Her iki yıl süresince arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, temiz suyun sulama düzeyleri ve tüm konuların bakteri uygulama sayısı arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmmanın her iki yılında da arıtılmış atık su ile sulama suyu miktarı arttıkça Cr konsantrasyonları artmakta olup, temiz su koşullarına ait sulama seviyesi konularının istatistiksel olarak benzer olduğu görülmektedir. Arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri konuları incelendiğinde S1 ile S2 ve S3 ile S4 uygulamaları istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda Cr konsantrasyonunu artırmıştır.

Deneme toprağının farklı derinliklerinde ölçülen nikel (Ni) konsantrasyonları Tablo 69 ve 70’de verilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenen Ni konsantrasyonları incelendiğinde 2022 yılında 0,32-0,98 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R0 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm toprak derinliğinde temiz su uygulaması olan S4R2 konusunda belirlenmiştir. Ni konsantrasyonları 2023 yılında 0,41-0,89 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-30 cm toprak derinliğinde arıtılmış atık su uygulaması olan S1R1 konusunda, en düşük değer ise 60-90 cm

derinliğinde temiz su uygulaması olan S3R1 konusunda belirlenmiştir. Her iki yılda da arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli, temiz suyun sulama düzeyleri ve tüm konuların bakteri uygulama sayısı arasındaki farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Araştırmanın her iki yılı süresince arıtılmış atık su ile sulama suyu miktarı artıkça Ni konsantrasyonları artmakta olup, temiz su koşullarına ait sulama seviyesi konularının istatistiksel olarak benzer olduğu görülmektedir. Arıtılmış atık suyun sulama düzeyleri konuları incelendiğinde 2022 yılında S1,S2,S3 ve S4 uygulamaları istatistiksel olarak birbirinden farklı, 2023 yılında ise S3 ile S4 uygulamaları istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Araştırmada arıtılmış atık su uygulamaları, temiz suya göre tüm konularda Cr konsantrasyonunu artırmıştır.

Genel olarak sulama suyu kalitesi ve sulama suyu düzeylerinin toprak ağır metal içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Denemenin her iki yılında da bakteri uygulama sayısının tüm konuları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Arıtılmış atık su uygulamaları, tüm konularda temiz su uygulamasına göre toprak ağır metal içeriklerini artırmıştır. Arıtılmış atık suyun tüm konularında tam sulamaların en yüksek konsantrasyonlara neden olduğu tespit edilmiştir. Denemenin genelinde 2023 yılı ağır metal konsantrasyonun 2022 yılına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum aynı parsellerde sürekli arıtılmış atık su uygulamalarının topraktaki ağır metal birikimine yol açtığı şeklinde yorumlanabilir. Araştırmanın genelinde 0-30 cm toprak derinliğinde belirlenen ağır metal içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Araştırma sonrasında arıtılmış atık su ile sulanan konularda ağır metal içeriklerinde artış görülse de Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn içerikleri Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmelik ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün belirttiği limit değerlerinin oldukça altında yer aldığı saptanmıştır (Iwama *et al.* 2021).

Arıtılmış atık su ile sulama uygulamalarının toprakta ağır metal içeriğini artırdığı bilinmektedir (El-Nahhal *et al.* 2013; Ma *et al.* 2015; Yazdani *et al.* 2018). Yapılan birçok çalışmada atık suyla sulanan topraklardaki ağır metal içeriklerinin temiz suya kıyasla yüksek olduğu görülmüştür (Singh *et al.* 2010; Alghobar and Suresha 2016; Xiaomin *et al.* 2019; Nawaz *et al.* 2021). Bazı çalışmalarda atık su ile sulanan toprakların ağır metal içerikleri uluslararası yönetmeliklerin izin verilen limitlerin altında olduğu bildirilmiştir (Lente *et al.* 2014; Khaskhoussy *et al.* 2022). Cakmakci and Sahin (2021) silajlık mısır bitkisinde kısıtlı sulama ve arıtılmış atık su uygulamalarının ağır metal kirliliğine etkisinin değerlendirildiği çalışmada, sulama suyu miktarlarının azalması ve dolayısıyla toprağa geçen ağır metal miktarının azalması nedeni ile toprağın ağır metal içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. Benzer çalışmalarda arıtılmış atık su ile kısıtlı sulama koşullarının toprakta ağır metal içeriklerini

azalttığını, bu nedenle en yüksek su kısıt konusunun en düşük konsantrasyonlara sahip olduğunu bildirilmiştir (Tripathi *et al.* 2016; Demir and Sahin 2017; Tunc and Sahin 2017; Biswas *et al.* 2018). Jimenes (2006) ve Pathan *et al.* (2011) tarafından atık su ile gerçekleştirdikleri çalışmaları sonucu toprağın üst katmanlarında ağır metal birikimi olduğu bildirilmiştir. Bu araştırma, atık su ile sulama şartlarında elde edilen yüksek verim değerlerinin alınması ile beraber, toprakta biriken ağır metallerin toksik seviye sınırlarının altında olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, dünyanın bazı bölgelerinde ham olarak kullanılan atık suların sağlık ve ekolojik denge açısından sorunlar oluşturabileceği; atık suların arıtılarak kullanılmasının toprakta ağır metal birikimini azaltabileceği söylenebilir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Erzurum ili koşullarında, 2022-2023 yılları vejetasyon döneminde gerçekleştirilen bu araştırmada, damla sulama yöntemiyle, bitki büyümesini teşvik eden bakteri (PGPB), kısıtlı sulama seviyelerinde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarıyla Aspir bitkisi (*Carthamus tinctorius* L.) yetiştirilmiştir. Çalışmada sulama seviyeleri olarak A sınıfı buharlaşma kabından okunan değerlerin %0 (S0-yağışa dayalı), %25(S4), %50(S3), %75(S2) ve %100 (S1)'ü seçilmiş; arıtılmış atık su ve temiz su olmak üzere iki farklı kalitede sulama suyu kullanılmıştır. Tüm sulama konularında bitki büyümesini teşvik eden (PGPB) bakteri kompozisyonunun 0, 1, 2 ve 3 kez uygulanmasının aspir bitkisi üzerine etkileri incelenmiştir. Söz konusu uygulamaların aspir bitkisinin fizyolojik özellikleri ve verimine, ürün kalitesine, su tüketimine, toprağın ve bitkinin ağır metal içeriklerine etkisi belirlenmiş olup deneysel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Denemede sulama uygulamaları süresince arıtılmış atık su ve temiz su örneklerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, birinci ve ikinci yıl açısından önemli bir fark görülmemiştir. Araştırmada kullanılan arıtılmış atık sular pH ve EC değerleri yönünden herhangi bir sorun oluşturmamaktadır. Damla sulama sistemlerinde damlatıcı tıkanmalarının en önemli faktörü olarak düşünülen askıda katı madde (AKM) değerlerinin sorunsuz sınıfa girdiği belirlenmiştir. Arıtılmış atık suyun SAR, RSC ve %Na değerleri açısından sınır değerleri geçmediği saptanmıştır. Çalışmada kullanılan arıtılmış atık suların KOİ ve BOİ₅ içerikleri bakımından sınır değerlerin altında bulunduğu belirlenmiştir. Arıtılmış atık suyun kalitesi “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırmasına göre fekal koliform ve toplam koliform için II. sınıf su kategorisinde yer almış olup, kullanılmasında bir sakınca bulunmayan sınıfta yer almıştır.

Bitkinin SPAD ve stoma iletkenlik değerleri incelendiğinde her iki yılda da arıtılmış atık su ve temiz suyun sulama düzeyleri istatistiksel olarak önemli bulunmuşken, bakteri uygulama sayıları arasında istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Sulama suyu kalitesinin SPAD değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş; stoma iletkenlik değerlerine etkisi ise önemli bulunmamıştır. Çalışmada en yüksek SPAD ve stoma iletkenlik değerleri her iki yılda da arıtılmış atık su uygulamasının S1 konularında, en düşük ise sulama uygulanmayan S0 konularında belirlenmiştir. İki yıllık ortalama değerler incelendiğinde S1 konusunun arıtılmış atık su uygulaması, temiz su uygulamasına göre SPAD değerini %6,39 artırmıştır.

Çalışmanın her iki yılında da temiz su ve arıtılmış atık suyla tam sulama konusuna eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. Denemede 2022 ve 2023 yılı için en yüksek sulama suyu S1 konusuna sırasıyla 340 mm ve 330 mm; en az sulama suyu ise S4 konusuna sırasıyla 100 mm ve 82.5 mm olarak uygulanmıştır. Aspir bitkisinin hesaplanan sezonluk bitki su tüketimi incelendiğinde, arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarının bitki su tüketim değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Bakteri uygulamalarından R3 konusu bitki su tüketimi değerlerindeki en fazla azalışı göstermiş olup, en düşük bitki su tüketimi 235 mm ile S0R3 konusunda, en yüksek bitki su tüketimi ise 552 mm ile S1R0 uygulamalarında belirlenmiştir. Denemede sulama suyunun kalitesi, su kullanma etkinliği (WUE) ve sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) 2022 yılı S3 konusu hariç istatistiksel düzeyde önemli bulunmuştur. Kısıtlı sulama uygulamalarının IWUE ve WUE değerleri S1 konusuna göre daha yüksek belirlenmiştir. Denemede her iki yılda da su stresi ve bakteri uygulamaları arttıkça WUE ve IWUE değerlerinin arttığı görülmektedir. Çalışmanın her iki yılında da R0 ile R1 ve R2 ile R3 konuları istatistiksel olarak benzerlik göstermiştir. İki yıllık ortalama değerlere göre istatistiksel olarak en yüksek WUE değeri S4R3 ve S0R3 konularında, IWUE değeri ise S4R2 ve S4R3 konularında gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, arıtılmış atık suların toprakların bitki besin elementleri içeriği üzerine olumlu katkılar sağlamasından dolayı su verimliliğinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

Araştırmada ağır metallerin genel olarak arıtılmış atık su ile sulanan konularda arttığı gözlenmiştir. Sulama suyu kalitesi ve sulama suyu düzeylerinin toprak ağır metal içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Denemenin her iki yılında da bakteri uygulama sayısının tüm konularda ağır metal içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Arıtılmış atık suyun tüm konularında tam sulanan konularda en yüksek konsantrasyon değerleri tespit edilmiştir. Araştırma tamamlandıktan sonra alınan örneklerde, arıtılmış atık su ile sulanan parsellerin ağır metal konsantrasyonları artmakla birlikte Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn içerikleri Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmelik ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın belirttiği limit değerlerin oldukça altında yer aldığı saptanmıştır. Bu durum arıtılmış atık suyun kısa süreli kullanımı ve içeriğinde düşük değerlerde ağır metal barındırmasından kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmiştir.

Deneme konularının bitkisel verim ve kalite parametreleri üzerine etkisi incelendiğinde, arıtılmış atık su uygulamalarının tohum ve yağ verimine olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür. Çalışmada sulama seviyesi miktarı ve bakteri uygulama sayıları arttıkça yağ ve tohum veriminde artış olduğu belirlenmiştir. İki yıllık ortalama değerler incelendiğinde S1 konusunun arıtılmış atık su uygulaması, temiz su uygulamasına göre tohum verimini %5,98 ve

yağ verimini ise %12,23 artırmıştır. Sulama uygulanmayan koşulların iki yıllık ortalaması incelendiğinde R3 bakteri konusu, R0 konusuna göre yağ verimini %25,29, tohum verimini ise %9,98 artırmıştır. Genel olarak sonuçlar irdelendiğinde arıtılmış atık su uygulamaları, farklı sulama suyu seviyeleri ve bakteri uygulama sayısının aspir bitkisi verimini önemli düzeyde etkilediği gözlenmiştir.

Bitki büyümesinin değerlendirilmesi kapsamında olan bitki boyu, gövde çapı ve dal sayısı değerleri incelendiğinde sulama suyu miktarı ve bakteri uygulama sayısı artıkça bitki boyu ve gövde çapının arttığı belirlenmiş olup, dal sayısı değerinde ise sulama suyu seviyeleri anlamlı bulunurken, bakteri uygulamaları istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Sulama suyu olarak deneme de kullanılan arıtılmış atık su ve temiz su uygulamaları bitki boyunu ve gövde çapını önemli düzeyde etkilemiş olup, dal sayısı yönünden S1 ve S2 konuları istatistiksel olarak önemli, S3 ve S4 konuları önemsiz bulunmuştur. İki yıllık ortalama değerler incelendiğinde S1 konusunun arıtılmış atık su uygulaması, temiz su uygulamasına göre bitki boyunu %12,41, gövde çapını ise %11,23 artırdığı saptanmıştır. İki yıllık ortalama değerler bazında bitki başına dal sayısı incelendiğinde, arıtılmış atık su S1 konusu, S0 konusuna göre %25,24, temiz su S1 konusu, S0 konusuna göre % 20,34 artışa neden olmuştur.

Denemede yetiştirilen aspir bitkisinin protein içeriği tam sulama konusunun arıtılmış atık su koşullarında, temiz su koşullarına göre %10,17 daha yüksek belirlenmiştir. Her iki yıl ortalaması incelendiğinde en yüksek protein değeri arıtılmış atık su koşullarında S1R3 konusunda, en düşük ise sulama ve bakteri uygulanmayan S0R0 konusunda gerçekleşmiştir. Sulama seviyeleri ve bakteri uygulama sayılarının artması protein değerlerinde olumlu bir katkı sağlamıştır.

Tam sulama konusunda iki yıllık ortalama dikkate alındığında, arıtılmış atık su ile sulama uygulaması, temiz suya göre bitkide P, K, Ca ve Mg içeriklerini sırasıyla %39,95, %159, %23 ve %64 oranlarında artırmıştır. Benzer şekilde bitkide Cd, Pb, Cr, Mn, Cu, Zn, Fe ve Ni içeriklerini sırasıyla 2,33, 13,88, 1,83, 0,99, 0,96, 2,44, 1,58 ve 2,29 kat artırmış ancak, bu artışlar risk oluşturacak seviyelere ulaşmamıştır. Ayrıca su stresi ile birlikte bitkide Mn ve Cu hariç ağır metal içeriklerinde azalmalar görülmüştür. Denemede bakteri uygulama sayısının P ve K hariç diğer elementler üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

İki yıl boyunca yürütülen bu çalışmada alternatif sulama suyu gereksinimini karşılamak amacıyla yüksek su verimliliği sağlanması ve bitki verimini artırmasından dolayı Erzurum İli Biyolojik Arıtma Tesisi çıkış sularının aspir bitkisinin yetiştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte PGPB uygulamalarının bitkide su stresinden kaynaklanan verim kaybını azalttığı belirlenmiştir.

Protein oranı, yağ oranı ve tohum verimi artırılmış atık su uygulamasının S1 sulama konusunda, S2 konusuna göre sırasıyla %3,3, %4,5 ve %2,9 oranında artış tespit edilmiştir. Bu artış değerleri R3 ve R2 konuları için sırasıyla, %3,45, %2,9 ve %0,4 olarak kaydedilmiştir. Bu değerlerden hareketle bitki verim ve kalite değerleri bakımından su kaynaklarının yetersiz olduğu koşullarda S2 konusu önerilmektedir. Benzer şekilde R2 konusu da, R3'e göre tercih edilebilir. Daha fazla sayıda bakteri uygulamasının aspir bitkisinde verim ve kalite parametrelerine olası etkileri konusunda yeni araştırmalara gereksinim vardır.

Tohum verimi bakımından artırılmış atık su uygulamasının S1 sulama konusunda, S0, S4 ve S3 konularına göre sırasıyla %31,17, %14,21 ve %12,35 oranında artış kaydedilmiştir. Bu değerlerden hareketle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde tohumculuk işletmelerinin S4 konusunu tercih edebileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada PGPB kompozisyonunun kuraklık stresi koşullarında kullanılması ile sulama suyunun etkinliğini artırılabilceği görülmüştür. Bu kapsamda araştırmada kullanılan PGPB kompozisyonunun biyogübre olarak kullanımı konusu üzerinde yeni araştırmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İnsanlık var olduğundan beri uygulanan tarım sistemleri içinde, suya alternatif hiçbir kaynak yoktur. Tüm tarım sistemleri su varlığına dayanmaktadır. Günden güne hissedilen iklim değişikliğinin en fazla dönüştürdüğü unsurlardan birisi de yağış karakteri olup, bu durum yağışın şiddeti, miktarı ve mevsimselliğini (zamanlamasını) etkilemektedir. Böyle bir çevresel değişim ortamında su kaynaklarının tarımsal üretim periyodu içinde artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla suyun etkin kullanıldığı tarımsal üretim sistemlerinin yaygınlaştırılması, su tasarrufu sağlayan, özellikle de sınırlı su ile üretim yöntemlerinin devreye konulması ve suyun geri dönüştürülerek yeniden kullanımının desteklenmesi gerekmektedir. Ülkemiz koşullarında da kuraklık stresinin bitkisel ve hayvansal üretim üzerine etkilerinin yoğun bir şekilde araştırılması ve verim artırıcı uygulamaların benimsenmesi esastır. Artan su gereksinimi, doğal su kaynaklarındaki yüksek fiyatlanma ve ilerlemiş geri kazanma teknolojileri atık suların tekrar kullanılmasını hem çevre ve hem de kaynakların ekonomik kullanımı yönünden çekici duruma getirmektedir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Mageed, T. A., Rady, M. O., Abd El-Wahed, M. H., Abd El-Mageed, S. A., Omran, W. M., Aljuaid, B. S., ... & Abdou, N. M. (2022). Consecutive seasonal effect on yield and water productivity of drip deficit irrigated sorghum in saline soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2683-2690.
- Abdelrahman, H. A., Alkhamisi, S. A., Ahmed, M., & Ali, H. (2011). Effects of treated wastewater irrigation on element concentrations in soil and maize plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 42(17), 2046-2063.
- Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M., Fadl, A., & Bakr, B. (2020). Effect of deficit irrigation strategies and organic mulching on yield, water productivity and fruit quality of navel orange under arid regions conditions. *Plant Archives*, 20(1), 3505-3518.
- Abdelraouf, R.E. and R. Ragab (2018). Applying Partial Root Drying drip irrigation in presence of organic mulching. Is that the best irrigation practice for arid regions?: Field and Modelling Study Using SALTMED model. *Irrig. And Drain.*, 67: 491–507.
- Ağrağaç, Z., & Çelebi, Ş. Z. (2021). Kentsel Atık Suların Karamba (*Lolium multiflorum* cv. Caramba)'nın Ağır Metal ve Bazı Besin Elementi İçeriğine Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(3), 2400-2411.
- Ahmed, N., Ehsan, A., Danish, S., Ali, M. A., Fahad, S., Dawar, K., ... & Glick, B. R. (2022). Mitigation of lead (Pb) toxicity in rice cultivated with either ground water or wastewater by application of acidified carbon. *Journal of Environmental Management*, 307, 114521.
- Ahmmadi, P., Rahimian, M., & Movahed, R. G. (2021). Theory of planned behavior to predict consumer behavior in using products irrigated with purified wastewater in Iran consumer. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126359.
- Akhoundnejad, Y. (2020). Response of certain tomato (*Solanum lycopersicum*) genotypes to drought stress in terms of yield and quality in Sirnak. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 4(1), 107-113.
- Alghobar, M. A., & 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.
- Alharbi, K., Rashwan, E., Hafez, E., Omara, A. E. D., Mohamed, H. H., & Alshaal, T. (2022). Potassium Humate and Plant Growth-Promoting Microbes Jointly Mitigate Water Deficit Stress in Soybean Cultivated in Salt-Affected Soil. *Plants*, 11(22), 3016.
- Ali, B. (2015). Bacterial auxin signaling: comparative study of growth induction in *Arabidopsis thaliana* and *Triticum aestivum*. *Turkish Journal of Botany*, 39(1), 1-9.
- Alikhasi, M., Kouchakzadeh, M., & Baniani, E. (2012). The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. *J. Agr. Sci. Tech*, (14)1357- 1364.
- Alkhamisi, S. A., Abdelrahman, H. A., Ahmed, M., & Goosen, M. F. A. (2011). Assessment of reclaimed water irrigation on growth, yield, and water-use efficiency of forage crops. *Applied Water Science*, 1, 57-65. Al-Lahham O, El Assi NM, Fayyad M (2003) Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agric Water Manag* 61:51–62.

- Al-Surmi, N. Y., El-Dengawy, R. A. H., & Khalifa, A. H. (2016). Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. *Journal of Food Processing and Technology*, 7(5).
- Altan, E., (1998). İçme ve Sulama Suyu Analiz Yöntemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Yayın No: 18. Ankara.
- Ammeri, R. W., Hidri, Y., Souid, F., Simeone, G. D. R., Hajjaji, F., Moussa, M., ... & Eturki, S. (2023). Improvement of degraded agricultural soil in an arid zone following short- and long-term treated municipal wastewater application: A case study of Gabes perimeter, Tunisia. *Applied Soil Ecology*, 182, 104685.
- Angelakis, A. N., & Snyder, S. A. (2015). Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. *Water*, 7(9), 4887-4895.
- Anonim, (2007). Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
- Anonim, (2008). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/02/20080213-13.htm> (04.03.2023).
- Anonim, (2010a). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm>. (04.03.2023).
- Antoun, H. (2013). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Brenner's Encyclopedia of Genetics*, 2nd edition, Volume 5.
- Apha, (1995). Standard Methods. 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Arıkan, Ş., & Pırlak, L. (2020). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Physiological Parameters Against Salinity in Apple Cultivar “Fuji”. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 281-286.
- Ashraf, M., Ahmad, M. B., Shahzad, S. M., Imtiaz, M., Atif, M., Asif, M., & Aziz, A. (2021). Characterization of wastewater and soil and vegetable plants exposed to long-term wastewater irrigation. *Soil & Environment*, 40(1).
- Aydın, O., (2012). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.)’de Farklı Ekim Sıklıklarının Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya.
- Ayers, R.S. and D.W. Wescot. (1989). Water Quality for agriculture, *FAO Irrigation and Drainage*, Paper 29, Rome-Italy, Rev.1, p.174.
- Ayoub, S., Al-Shdiefat, S., Rawashdeh, H., & Bashabsheh, I. (2016). Utilization of reclaimed wastewater for olive irrigation: Effect on soil properties, tree growth, yield and oil content. *Agricultural Water Management*, 176, 163-169.
- Aziz, F., & Farissi, M. (2014). Reuse of treated wastewater in agriculture: solving water deficit problems in arid areas. *Annals of West University of Timișoara Series of Biology*, 17, 95–110.
- Balkhair, K. S. (2016). Impact of treated wastewater on soil hydraulic properties and vegetable crop under irrigation with treated wastewater, field study and statistical analysis. *Journal of Environmental Biology*, 37(5), 1143–1152.
- Banjaw, D.T.; Megersa, H.G.; Lemma, D.T. (2017). Effect of water quality and deficit irrigation on tomatoes yield and quality: A review. *Adv. Crop Sci. Tech*, 5,295.

- Barzegar, T., Heidaryan, N., Lofti, H., Ghahremani, Z. (2018). Yield, fruit quality and physiological responses of melon cv. Khatooni under deficit irrigation. *Advances in Horticultural Science*, 32(4), 451-458.
- Bashir, S., Qayyum, M. A., Husain, A., Bakhsh, A., Ahmed, N., Hussain, M. B., ... & Diao, Z. H. (2021). Efficiency of different types of biochars to mitigate Cd stress and growth of sunflower (*Helianthus*; L.) in wastewater irrigated agricultural soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(4), 2453-2459.
- Bayramoğlu, Z., Selvi, T., Eşitken, A., & Dönmez, M. F. (2020). The Effect of Bacterial Applications on Resource Utilization in Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) Production. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1308-1313.
- Belmonte M., Hsieh, C.F., Figueroa, C., Campos, J.L, Vidal, G., 2011. Effect of free ammonia nitrogen on the methanogenic activity of swine wastewater. *Electronic Journal of Biotechnology*, 14 (3), 1-9.
- 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.
- Bhunja, G. S. (2022). An assessment of irrigation water quality of Kasai River Basin using geo-analytical approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(17), 1-16.
- Biçer, Ş. (2020). Farklı Sulama Uygulamalarının Bitki Gelişimini Arttıran Kök Bakterileri (Pgpr) ve Arbusküler Mikorhizal Fungus (Amf) Uygulanmış Hıyarda Bitki Özellikleri, Verim ve Kaliteye Etkileri. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Van.
- Biçer, Ş., Erdiñç, Ç., & Çömlekçioğlu, N. (2020). Hıyarda Kök Bakterisi (PGPR) ve Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF) Aşılamlarının Farklı Sulama Seviyelerinde Bitki Gelişimi ve Verim Özelliklerine Etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(1), 8-20.
- Bijanazadeh, E., Moosavi, S. M., & Bahadori, F. (2022). Quantifying water stress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by crop water stress index under different irrigation regimes. *Heliyon*, 8(3), e09010.
- Biswas, S. K., & Mojid, M. A. (2018). Changes in soil properties in response to irrigation of potato by urban wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(7), 828-839.
- Blake, G.R. and Hartge K.H. (1986). 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.
- Bonfim-Silva, E. M., de Anicésio, E. C. A., de Oliveira, J. R., de Freitas Sousa, H. H., & da Silva, T. J. A. (2015). Soil water availabilities in the content and accumulation of nitrogen and chlorophyll index in the safflower. *American Journal of Plant Sciences*, 6(14), 2280.
- Bulegon LG, Guimarães VF, Klein J, Batisttus AG, Inagaki AM, Offmann LC, Souza AKP. (2017). Enzymatic activity, gas exchange and production of soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. *Aust J Crop Sci* 11:888–896
- Cakmakci, T., & Sahin, U. (2021). Improving silage maize productivity using recycled wastewater under different irrigation methods. *Agricultural Water Management*, 255, 107051.

- Cakmakci, T., & Sahin, U. (2021). Productivity and heavy metal pollution management in a silage maize field with reduced recycled wastewater applications with different irrigation methods, *Journal of environmental management*, 291, 112602.
- Camele, I., Elshafie, H.S., Caputo, L., Sakr, S.H., De Feo, V. (2019). *Bacillus mojavensis*: Biofilm formation and biochemical investigation of its bioactive metabolites. *J. Biol. Res.* 92, 8296.
- Campi, P.; Navarro, A.; Palumbo, A.D.; Modugno, F.; Vitti, C.; Mastrorilli, M. (2016). Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. *Eur. J. Agron*, 76, 176–185. [CrossRef]
- Can, S., Dulkadiroğlu, H. (2021). Arıtılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 124-134.
- Castro, E., Mañas, P., & De Las Heras, J. (2013). Effects of wastewater irrigation in soil properties and horticultural crop (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 36(11), 1659-1677.
- Chaganti, V. N., Ganjegunte, G., Niu, G., Ulery, A., Enciso, J. M., Flynn, R., ... & Kiniry, J. R. (2021). Yield response of canola as a biofuel feedstock and soil quality changes under treated urban wastewater irrigation and soil amendment application. *Industrial Crops and Products*, 170, 113659.
- Chai Q, Gan Y, Turner NC, Zhang RZ, Yang C, Niu Y, Siddique KHM. (2014). Water-saving innovations in Chinese agriculture. *Adv Agron*, 126:147–197. doi:10.1016/B978-0-12-800132-5.00002-X
- Chand, J., Hewa, G., Hassanli, A., & Myers, B. (2020). Evaluation of deficit irrigation and water quality on production and water productivity of tomato in greenhouse. *Agriculture*, 10(7), 297.
- Chattha, W.S., Shakeel, A., Iqbal, M., Yaseen, M., Amin, M., Mahmood, N. (2021). Quantifying the effect of water deficit on cotton genotypes using agro-physiological and biochemical parameters. *Journal of Natural Fibers*, 18:12, 1995-2005.
- Chauhan, G., & Chauhan, U. K. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via dietary intake of vegetables grown in wastewater irrigated area of Rewa, India. *International journal of scientific and research publications*, 4(9), 1-9.
- Cole MB, Augustin MA, Robertson MJ, Manners JM. (2018). The science of food security. *NPJ Sci Food*, 2:14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>
- Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G., & Eisenberg, J. N. (2017). Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Research*, 123, 834-850.
- Crook, J., (1998). Water reclamation and reuse criteria. In: Asano, T. (Ed.), *Wastewater Reclamation and Reuse*. Technomic, Lancaster, PA.
- Çakmakçı, T., (2018). Farklı Yöntemlerle Değişen Seviyelerde Arıtılmış Atık Su Uygulamalarının Silajlık Mısırdaki Su Kullanımı, Bitki ve Toprak Özelliklerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Çamaş, N., Çırak, C. ve Esendal, E. (2007). Seed Yield, Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Grown in Northern Turkey Condition, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 98- 104.

- Danish, S., Zafar-ul-Hye, M., Mohsin, F., Hussain, M. (2020). ACC-deaminase producing plant growth promoting rhizobacteria and biochar mitigate adverse effects of drought stress on maize growth. *PLoS One*, 15, e0230615.
- Day, A. D., & Tucker, T. C. (1977). Effects of treated municipal waste water on growth, fiber, protein, and amino acid content of sorghum grain (Vol. 6, No. 3, pp. 325-327). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Deh-Haghi, Z., Bagheri, A., Fotourehchi, Z., & Damalas, C. A. (2020). Farmers' acceptance and willingness to pay for using treated wastewater in crop irrigation: A survey in western Iran. *Agricultural Water Management*, 239, 106262.
- Deltalab, B., Kazemi-Arbat, H., & Pasban-Eslam, B. (2011). The effect of sowing dates on yield, yield components and oil content of three spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under full irrigation regime in Tabriz. *Journal of Crop Ecophysiology*, 5:19 (3), 11-24.
- Demir, A. D., (2016). Farklı sulama stratejileri ile atık su uygulamalarının bingöl koşullarında domates bitkisinin verim ve kalitesi ile toprak özelliklerine etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum.
- Demir, A. D., & 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, 24856-24879.
- Demir, A. D., & 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.
- Demiralay, İ., (1993). Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, No:143, Erzurum.
- Dere, S., (2021). Kuraklık stresi koşullarında bakteri uygulamasının domates bitkileri üzerine etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 52-62.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1984). Crop water requirements. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome. *Fao Irrigation and Drainage Paper*, No:24. 144 pp.
- Dordas, C. A., & Sioulas, C. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial crops and products*, 27(1), 75-85.
- Duraktekin, G., Çolak, Y. B., Özfıdaner, M., Baydar, A., & Gönen, E. (2019). Karpuzda farklı sulama programlarının klorofil içeriğine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 179-187.
- Durusoy, A. E., (2022). Farklı Sulama Suyu Düzeylerinde Birinci Ürün Sorgum Bitkisinin Kimi Fizyolojik Ve Morfolojik Özelliklerinin Değişimi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi, A., & Damalas, C. A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218, 149-157.
- Ehya, F., Mosleh, A. (2018). Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in Basht Plain, Kohgiluyeh-va-Boyer Ahmad Province, SW Iran. *Environ. Earth Sci.* 77, 164.

- Ek, H., Çelebi, Ş. Z., & Ağırağaç, Z. (2021). Arıtma Tesisi Atık Suyu ile Sulamanın Ak Üçgül (*Trifolium repens* L.)+ Çayır Salkım Otu (*Poa pratensis* L.) Bitkilerinden Oluşan Karışımın Gelişimi, Bazı Metal ve Metaloid İçeriği Üzerine Kısa Vadeli Etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 352-361.
- Ekin, Z. (2020). Field evaluation of rhizobacterial inoculants in combination with humic substances to improve seed and oil yields of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under irrigated and rainfed conditions. *Applied ecology and environmental research*, 18(5), 6377-6403.
- Ekinci, M., Kotan, R., Mohammadi, P., Yıldırım, E., Tozlu, E., Esringü, A., Nadaroğlu, H. ve Katırcıoğlu, H. (2015). PGPR biyoformülasyonlarının marulda bitki gelişim parametreleri, enzim düzeyi ve bakteriyel leke hastalığının (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vitians*) kontrolü üzerine etkilerinin araştırılması. İç Anadolu Bölgesi, 2. Tarım ve Gıda Kongresi, Nevşehir.
- Elgallal, M., Fletcher, L., Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: a review. *Agric. Water Manag.* 177, 419–431.
- El-Nahhal, Y., Tubail, K., Safi, M., & Safi, J. (2013). Effect of treated waste water irrigation on plant growth and soil properties in Gaza Strip, Palestine. *American Journal of Plant Sciences*, 4(09), 1736.
- English M, Nuss GS. (1982). Designing for deficit irrigation. *J Irrig Drain Div* 108:91–106
- Erdem, T. (2018). Farklı Sulama Suyu Uygulamalarının Badem Ağaçlarının Su Kullanımı ve Vegetatif Gelişme Parametrelerine Etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1), 86-94.
- Erice G, Louahlia S, Irigoyen JJ, Sanchez-Diaz M, Avice JC. (2010). Biomass partitioning, morphology and water status offour alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *J Plant Physiol.* 167:114–120.
- Esendal, A., Istanbuluoglu, B., Arslan, B., & Paşa, C. (2008). Effect of water stress on growth components of winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In 7th International safflower conference (pp. 1-3).
- Fan, X., Zhang, S., Mo, X., Li, Y., Fu, Y., Liu, Z. (2017). Effects of plant growth promoting rhizobacteria and N source on plant growth and N and P uptake by tomato grown on calcareous soils. *Pedosphere*, 27 (6): 1027–1036.
- Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z., & 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.
- Feder, F. (2021). Irrigation with treated wastewater in humid regions: Effects on Nitisols, sugarcane yield and quality. *Agricultural Water Management*, 247, 106733.
- Fernandes-Silva A, Oliveira M, Paço TA, Ferreira I. (2018). Deficit irrigation in Mediterranean fruit trees and grapevines: water stress indicators and crop responses. In: *Irrigation in agroecosystems*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80365>
- Forni, C., Duca, D., & Glick, B. R. (2017). Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria. *Plant and Soil*, 410(1), 335-356.
- Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M. J., ... & Pérez-López, D. (2018). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to

- save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural water management*, 202, 311-324.
- García-Caparrós, P., Romero, M. J., Llanderal, A., Cermeño, P., Lao, M. T., Segura, M. L. (2019). Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, 11(3), 573.
- Gatta, G., Galiardi, A., Disciglio, G., Lonigro, A., Francavilla, M., Tarantino, E., Giuliani, M. M. (2018). Irrigation with treated municipal wastewater on artichoke crop: assessment of soil and yield heavy metal content and human risk. *Water*, 10(3): 1-18.
- Ghanbari, A., Koupai, J. A., & Semiromi, J. T. (2007). Effect of municipal wastewater irrigation on yield and quality of wheat and some soil properties in sistan zone. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 10(4), 59-75.
- Gharaibeh, M. A., Ghezzehei, T. A., Albalasmeh, A. A., & Ma'in, Z. A. (2016). Alteration of physical and chemical characteristics of clayey soils by irrigation with treated waste water. *Geoderma*, 276, 33-40.
- Ghassemi Sahebi, F., Mohammadrezapour, O., Delbari, M., KhasheiSiuki, A., Ritzema, H., & Cherati, A. (2020). Effect of utilization of treated wastewater and seawater with Clinoptilolite-Zeolite on yield and yield components of sorghum. *Agricultural Water Management*, 234, 106117.
- Ghorbanpour, M., Hatami, M., Khavazi, K. (2013). Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of *Hyoscyamus niger* under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology*, 37 (3), 350-360.
- Giri, A., Bharti, V. K., Kalia, S., Kumar, K., & Khansu, M. (2022). Hydrochemical and quality assessment of irrigation water at the trans-himalayan high-altitude regions of Leh, Ladakh, India. *Applied Water Science*, 12(8), 1-20.
- Gohil, M.B., (2000). *Land Treatment of Waste Water*. 1st ed. New Age International, New Delhi, India.
- Gökçe, A. Y., Kotan, R. (2014). Buğday kök çürüklüğüne neden olan *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) fungusunun PGPR ve antagonist bakteriler kullanılarak kontrollü koşullarda biyolojik mücadele imkânlarının araştırılması. *Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi*, Antalya, Türkiye.
- Gu, X., Xiao, Y., Yin, S., Liu, H., Men, B., Hao, Z., ... & Pei, Q. (2019). Impact of long-term reclaimed water irrigation on the distribution of potentially toxic elements in soil: an in-situ experiment study in the North China Plain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 649.
- Hafez, E. M., Osman, H. S., Gawayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E. D., Sami, R., & Abd El-Razek, U. A. (2021). Minimizing the adversely impacts of water deficit and soil salinity on maize growth and productivity in response to the application of plant growth-promoting rhizobacteria and silica nanoparticles. *Agronomy*, 11(4), 676.
- Hajhashemi, S., Mbarki, S., Skalicky, M., Noedoost, F., Raeisi, M., & Brestic, M. (2020). Effect of wastewater irrigation on photosynthesis, growth, and anatomical features of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Water*, 12(2), 607.
- Hajlaoui, H., Maatallah, S., Guizani, M., Boughattas, N. E. H., Guesmi, A., Ennajeh, M., & Lopez-Lauri, F. (2022). Effect of Regulated Deficit Irrigation on Agronomic Parameters of Three Plum Cultivars (*Prunus salicina* L.) under Semi-Arid Climate Conditions. *Plants*, 11(12), 1545.

- Hao, B., Xue, Q., Marek, T. H., Jessup, K. E., Becker, J. D., Hou, X., ... & Howell, T. A. (2019). Grain yield, evapotranspiration, and water-use efficiency of maize hybrids differing in drought tolerance. *Irrigation Science*, 37(1), 25-34.
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated wastewater irrigation: A review. *Water*, 13(11), 1527.
- Hashem, M. S., El-Abedin, T. Z., & Al-Ghobari, H. M. (2018). Assessing effects of deficit irrigation techniques on water productivity of tomato for subsurface drip irrigation system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 156-167.
- Hashem, M. S., Guo, W., Qi, X., & Li, P. (2022). Assessing the effect of irrigation with reclaimed water using different irrigation techniques on tomatoes quality parameters. *Sustainability*, 14(5), 2856.
- Heidari, H., & Moradi, S. (2019). Comparison of refined and non-refined wastewater effect on wheat seed germination and growth under drought. *Water SA*, 45(4), 657-662.
- Heidari, M., Sobhkhizi, A., Mahmoody, M., & Noori, M. (2014). Evaluation of phosphorus fertilizer and azospirillum on number of head, number of branch and plant height on safflower. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 5(1), 455-460.
- Himanshu, S. K., Ale, S., Bordovsky, J., & Darapuneni, M. (2019). Evaluation of crop-growth-stage-based deficit irrigation strategies for cotton production in the Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, 225, 105782.
- Hooshmand, M., Albaji, M., & zadeh Ansari, N. A. (2019). The effect of deficit irrigation on yield and yield components of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum*) in hydroponic culture in Ahvaz region, Iran. *Scientia horticulturae*, 254, 84-90.
- Howell, T.A. (2001). "Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture", *Agronomy Journal*, 93, 281-289.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq, M., & Ahmad, W. (2019). Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural water management*, 221, 462-476.
- Ijaz, M., Sarfraz, M., Nawaz, A., Yasir, T. A., Sher, A., Sattar, A., & Wasaya, A. (2018). Diluted sugar mill effluent application with PGPR improves the performance of maize (*Zea mays* L.) under an arid climate. *Agronomy*, 8(5), 67.
- Islam, M. A., Rahman, M., Bodrud-Doza, M., Muhib, M., Shammi, M., Zahid, A., ... & Kurasaki, M. (2018). A study of groundwater irrigation water quality in south-central Bangladesh: a geo-statistical model approach using GIS and multivariate statistics. *Acta Geochimica*, 37(2), 193-214.
- Istanbulluoglu, A. (2009). Effects of irrigation regimes on yield and water productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural water management*, 96(12), 1792-1798.
- Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C., & Konukçu, F. (2009). Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agricultural Water Management*, 96(10), 1429-1434.
- Iyama, W. A., Okpara, K., & Techato, K. (2021). Assessment of heavy metals in agricultural soils and plant (*Vernonia amygdalina* delile) in port harcourt metropolis, Nigeria. *Agriculture*, 12(1), 27.

- İçen, A., (2019). Farklı Azot Dozlarının Aspir (*Carthamus Tinctorius* L.) Çeşitlerinde Verim Ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- İmriz, G., Özdemir, F., Topal, İ., Ercan, B., Taş, M. N., Yakışır, E., & Okur, O. (2014). Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR)'ler ve etki mekanizmaları. Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 12(2), 1-19.
- İsmail, E.S., (2011). Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinde Farklı Gelişme Dönemlerinde Yapılan Sulamaların Verim ve Bazı Agronomik Özellikler Üzerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana
- Jacobs, J., Rigby, S., McKenzie, F., Ryan, M., Ward, G., & Burch, S. (1998). Effect of nitrogen on pasture yield and qualitative for silage in Western Victoria. Aust. Soc. Agron.
- Jaiswal, D. and H.A. Elliott. (2011). Long term phosphorus fertility in wastewater irrigated cropland. J. Environ. Qual., 40: 214-223.
- James, D.W., Hanks, R.J., Jurnak, J.J. 1982. Modern Irrigated soils. Published by John Wiley and Sons Inc. New York USA
- Janmohammadi, M., Amanzadeh, T., Sabaghnia, N., & Ion, V. (2016). Effect of nano-silicon foliar application on safflower growth under organic and inorganic fertilizer regimes. Botanica Lithuanica, 22(1), 53-64.
- Jiménez, B. 2006. Irrigation in developing countries using wastewater. International Review for Environmental Strategies 6:229–50.
- Johnson N, Revenga C, Echeverria J (2001) Managing water for people and nature. Science 292:1071–1072
- Johnson, R., Petrie, S., Franchini, M.C., Evans, M., 2012. Yield and yield components of winter-type safflower. Crop Sci. 52, 2358–2364.
- Kaçar, B., 1972. Bitki ve toprak kimyasal analizleri. II. Bitki Analizleri. A.Ü. Zir. Fak. Yay. 453, Ankara.
- Kalamartzis, I., Ralli, P. & Dordas, C. (2019). Tolerance of Landraces of Basil (*Ocimum basilicum*) to Water Stress Under Mediterranean conditions. International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET), 14(2), 81-87. <http://dx.doi.org/10.21172/ijjet.142.12>
- Kanber, R. ve Ünlü M., 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Kar, G., Kumar, A., Martha, M., 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management 87, 73–82.
- Karagöz, F. P., DURSU, A., & Kotan, R. (2019). Effects of Rhizobacteria on Plant Development, Quality of Flowering and Bulb Mineral Contents in *Hyacinthus orientalis* L. Alinteri Journal of Agriculture Science, 34(1), 88-95.
- Karakaya, Z., & Ödemiş, B. (2019). Determination of relationship water-yield of inoculated and uninoculated soybean in different irrigation water level. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24, 278-289.
- Kardeş, Y. M., Karaer, M., Köse, Ö. D. E., & Zeki, M. U. T. (2020). Artırılmış Atıksu Uygulamalarının Üç Farklı Mısır (*Zea Mays* L.) Çeşidinde Çimlenme ve Fide Gelişim Özelliklerine Etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 113-120.

- Karim, M., Himel, R.M., Ferdush, J., Zakaria, M., 2017. Effect of irrigation levels on yield performance of black cumin. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 2, 960–966. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.2.52>.
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15.
- Kazemeini, S. A., Mohamadi, S., & Pirasteh-Anosheh, H. (2015, July). Growth and photosynthesis responses of safflower cultivars to water stress at two developmental stages. In *Biological Forum* (Vol. 7, No. 2, p. 923). Research Trend.
- 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.
- Kermani,, Asadi, M. 2018. Technical and economic evaluation of the deficit irrigation on yield of cotton. *International Association of Agricultural Economists (IAAE) 2018 Conference*, July 28-August 2, 2018, Vancouver, British Columbia.
- Khademian, R., Ghassemi, S., & Asghari, B. (2019). Bio-fertilizer improves physio-biochemical characteristics and grain yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. *Russian Agricultural Sciences*, 45, 458-463.
- Khaki-Moghadam, A., & Rokhzadi, A. (2015). Growth and yield parameters of safflower (*Carthamus tinctorius*) as influenced by foliar methanol application under well-watered and water deficit conditions. *Environmental and Experimental Biology*, 13(2), 93-97.
- Khan, N., Ali, S., Tariq, H., Latif, S., Yasmin, H., Mehmood, A., & Shahid, M. A. (2020). Water conservation and plant survival strategies of rhizobacteria under drought stress. *Agronomy*, 10(11), 1683.
- Khanpae, M., Karami, E., Maleksaeidi, H., & Keshavarz, M. (2020). Farmers' attitude towards using treated wastewater for irrigation: The question of sustainability. *Journal of cleaner production*, 243, 118541.
- Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B., Misle, E., & Hachicha, M. (2022). Impact of irrigation with treated wastewater on physical-chemical properties of two soil types and corn plant (*Zea mays*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1377-1393.
- Kılıç, G., 2010. *Aspirde Sulu ve Kuru Koşullarda Tarımsal Özelliklerin Karşılaştırılması*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Doktora Tezi.
- 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.
- Kotan, R., Dikbas, N., Bostan, H., 2009. Biological control of post harvest disease caused by *Aspergillus flavus* on stored lemon fruits. *African Journal of Biotechnology*, 8 (2), 209-214.
- Kotan, R., Sahin, F. Ala, A., 2004. Nutritional similarity in carbon source utilization of *Erwinia amylovora* and its potential biocontrol agents. *Journal of Turkish Phytopathology*, 33 (1-3), 25-38.
- Kotan, R., Tozlu, E., Güneş, A., & Dadaşoğlu, F. (2021). Elma fidan yetiştiriciliğinde *Bacillus subtilis* içerikli bir mikrobiyal gübrenin kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(1), 46-55.
- Kumar, D., Arvadiya, L.K., Kumawat, A.K., Desai, K.L., Patel, T.U., 2014. Yield, protein content, nutrient content and uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as influenced by

- graded levels of fertilizers and bio-fertilizers. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences* 2(6): 60-64.
- Kundu, R., & Ara, M. H. (2019). Irrigation water quality assessment of Chitra river, southwest Bangladesh. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7(4), 175-191.
- Kurunc A., Unlukara A., Cemek B., 2011. Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 61: 514-522.
- Kuslu, Y., Dursun, A., Sahin, U., Kiziloglu, F. M., Turan, M., 2008. Effect of deficit irrigation on curly lettuce grown under semiarid conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(4), 714-719.
- Lack, S., Ghooshchi, F., & Hadi, H. (2013). The effect of crop growth enhancer bacteria on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Int. J. Farm. Alli. Sci*, 2(20), 809-815.
- Lahlou, F. Z., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2021). Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126331.
- Lamaoui, M., Chakhchar, A., Kharrassi, Y. E., Wahbi, S., El Modafar, C. 2018. Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Water Stress in Melon (*Cucumis melo*) Subjected to Regulated Deficit Irrigation (RDI) and Partial Rootzone Drying (PRD). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(4), 407-416
- Lente, I., Ofosu-Anim, J., Brimah, A. K., & Atiemo, S. (2014). Heavy metal pollution of vegetable crops irrigated with wastewater 41 heavy metal pollution of vegetable crops irrigated with wastewater in Accra, Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*, 22(1), 41-58.
- Leuther, F., Schlüter, S., Wallach, R., & Vogel, H. J. (2019). Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. *Geoderma*, 333, 90-98.
- Levin AG, Peres M, Noy M, Love C, Gal Y, Naor A (2018) The response of field-grown mango (cv. Keitt) trees to regulated deficit irrigation at three phenological stages. *Irrig Sci* 36:25–35. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0557-5>.
- Li, B.; Cao, Y.; Guan, X.; Li, Y.; Hao, Z.; Hu, W.; Chen, L. Microbial assessments of soil with a 40-year history of reclaimed wastewater irrigation. *Sci. Total Environ.* 2019, 651, 696–705. [CrossRef]
- Li, X., Zhang, H., Li, F., Deng, H., Wang, Z., & Chen, X. (2022). Evaluating Effects of Regulated Deficit Irrigation under Mulched on Yield and Quality of Pumpkin in a Cold and Arid Climate. *Water*, 14(10), 1563.
- Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G., Tarantino, E., 2018. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agric. Water Manag.* 196, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>.
- Liddycoat, S. M. (2008). The effects of plant growth promoting rhizobacteria on *Asparagus officinalis* subjected to water stress and disease (Doctoral dissertation, University of Guelph).
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.

- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agric. Water Manage.* 92, 73–80.
- Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A.J., Jenkins, A., Ferrier, R.C., Li, H., Luo, W., Wang, T., 2015. Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environ. Int.* 77, 5–15. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010>
- 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.
- Mahjoub, O., Mauffret, A., Michel, C., & Chmingui, W. (2022). Use of groundwater and reclaimed water for agricultural irrigation: Farmers' practices and attitudes and related environmental and health risks. *Chemosphere*, 295, 133945.
- Mahmoudi, M.; Khelil, M.N.; Ghrib, R.; Douh, B.; Boujelben, A. Assesment of growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) under surface and subsurface drip irrigation using treated waste water. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* (2020), 9, 349–356.
- Manas, P., Castro, E., & de las Heras, J. (2014). Application of treated wastewater and digested sewage sludge to obtain biomass from *Cynara cardunculus* L. *Journal of cleaner production*, 67, 72-78.
- Mandal, S. K., Dutta, S. K., Pramanik, S., & Koley, R. K. (2019). Assessment of river water quality for agricultural irrigation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 451-462.
- Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N. A. R., Jabbari, H., & Diyanat, M. (2021). Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 172, 114069.
- Mariod, A. A., Ahmed, S. Y., Abdelwahab, S. I., Cheng, S. F., Eltom, A. M., Yagoub, S. O., & Gouk, S. W. (2012). Effects of roasting and boiling on the chemical composition, amino acids and oil stability of safflower seeds. *International journal of food science & technology*, 47(8), 1737-1743.
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Marsic, N.K., Sturm, M., Zupanc, V., Lojen, S., Pintar, M., 2012. Quality of white cabbage yield and potential risk of ground water nitrogen pollution, as affected by nitrogen fertilisation and irrigation practices. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92 (1), 92-98.
- McWilliams, D., 2003. Drought strategies for cotton, cooperative extension service circular 582, college of agriculture and home economics, New Mexico State University, USA.
- Menegaki, A. N., Hanley, N., & Tsagarakis, K. P. (2007). The social acceptability and valuation of recycled water in Crete: A study of consumers' and farmers' attitudes. *Ecological Economics*, 62(1), 7-18.
- Meneses, A. C. M. A. D., Weber, O. B., Crisóstomo, L. A., & Andrade, D. J. (2017). Biological soil attributes in oilseed crops irrigated with oilfield produced water in the semi-arid region1. *Revista Ciência Agronômica*, 48, 231-241.
- Michetti, M., Raggi, M., Guerra, E., & Viaggi, D. (2019). Interpreting farmers' perceptions of risks and benefits concerning wastewater reuse for irrigation: A case study in Emilia-Romagna (Italy). *Water*, 11(1), 108.

- Mirzaei, A. and S. Vazan. 2013. Study the effect of drought stress chemical fertilizer and bio-fertilizer on seed yield and important agronomic of safflower. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6: 968-974.
- Mirzakhani M, Ardakani MR, Ayeneh Band A, Rejali F, Shirani Rad AH. 2009. Response of Spring Safflower to Co-Inoculation with *Azotobacter chroococum* and *Glomus intraradices* Under Different Levels of Nitrogen and Phosphorus. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4 (3): 255-261.
- Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., & Nasrollahzade, S. (2015). Effect of water deficit on some morphological, yield and yield component of spring safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) cultivars. *International Journal of in Review Life Sciencse*, 5, 298-305.
- Mojid, M. A., Wyseure, G. C. L., Biswas, S. K., & Hossain, A. B. M. Z. (2010). Farmers' perceptions and knowledge in using wastewater for irrigation at twelve peri-urban areas and two sugar mill areas in Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 98(1), 79-86.
- Mondani, F., Khani, K., Honarmand, S. J., & Saeidi, M. (2019). Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agricultural Water Management*, 213, 707-713.
- Moradi, L., & Ehsanzadeh, P. (2015). Effects of Cd on photosynthesis and growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Photosynthetica*, 53, 506-518.
- 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.
- Namlı, A., Mahmood, A., Sevilir, B., & Özkır, E. (2017). Effect of phosphorus solubilizing bacteria on some soil properties, wheat yield and nutrient contents. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(3), 249-258.
- Nazar, Z., Akram, N. A., Saleem, M. H., Ashraf, M., Ahmed, S., Ali, S., ... & Alyemeni, M. N. (2020). Glycinebetaine-induced alteration in gaseous exchange capacity and osmoprotective phenomena in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit conditions. *Sustainability*, 12(24), 10649.
- Nollet, L.M.L., 2000. *Water Analysis*. Mercel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue. New York.
- Nosheen, A. (2014). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and chemical fertilizers on plant growth, oil content and quality of Safflower and Canola and their potential for biodiesel production (Doctoral dissertation, Quaid-i-Azam University, Islamabad Pakistan).
- Nosheen, A., & Bano, A. (2014). Growth enrichment of *Carthamus tinctorius* (L) and reduction in dosage of chemical fertilizers with application of plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 4, 75-84.
- Nosheen, A., Bano, A., Yasmin, H., Keyani, R., Habib, R., Shah, S. T., & Naz, R. (2016). Protein quantity and quality of safflower seed improved by NP fertilizer and Rhizobacteria (*Azospirillum* and *Azotobacter* spp.). *Frontiers in plant science*, 7, 104.
- Nosheen, A., Naz, R., Tahir A.T., Yasmin H., Keyani, R., Mitrevski, B., Bano, A., Chin, S. T., Marriott, P. J., Hussain, I. (2018). Improvement of safflower oil quality for biodiesel production by integrated application of PGPR under reduced amount of NP fertilizers. *Plos one*, 13(8):, 1-14.

- Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A., & Patel, R. (2019). Effect of biochar on the yield of potatoes cultivated under wastewater irrigation for two seasons. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 865-877.
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanable, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular No: 939, Washington D.C.
- Omara, A. E. D., Hafez, E. M., Osman, H. S., Rashwan, E., El-Said, M. A., Alharbi, K., ... & Gawayed, S. M. (2022). Collaborative impact of compost and beneficial rhizobacteria on soil properties, physiological attributes, and productivity of wheat subjected to deficit irrigation in salt affected soil. *Plants*, 11(7), 877.
- Omidi, A. H., Khazaei, H., Monneveux, P., & Stoddard, F. (2012). Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 10-15.
- Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, Ertan., Sahin,U., 2016. Changes in gas exchange capacity and selected physiological properties of squash seedlings (*Cucurbita pepo* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-11.
- Ouda, S., & Noreldin, T. (2020). Deficit Irrigation and Water Conservation. In *Deficit Irrigation* (pp. 15-27). Springer, Cham.
- Ozer, H., Coban, F., Sahin, U., & Ors, S. (2020). Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to deficit irrigation in a semi-arid region: Growth, yield, quality, and water productivity. *Industrial crops and products*, 144, 112048.
- Öner, E. K., & Şeker, T. (2020). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinin kuru koşullarda verim ve verim performanslarının belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(2), 296-301.
- Öztürk, Ö., Ada, R., & Akınerdem, F. (2009). Bazi aspir çeşitlerinin sulu ve kuru koşullarda verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 23(50), 16-27.
- Pahlavani, M.H., 2005. Some technological and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) from Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4 (3), 234-237.
- Pasban Eslam, B., Monirifar, H., Taher Ghasemi, M., 2010. Evaluation of late season drought effects on seed and oil yields in spring safflower genotypes. *Turk. J. Agric. For.* 34, 373–380. <https://doi.org/10.3906/tar-0904-43>.
- Pashang, D., Weisany, W., & Ghajar, F. G. K. (2021). Changes in the fatty acid and morphophysiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars as response to auxin under water-deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 2164-2177.
- Pathak, C., A. K. Chopra, V. Kumar, and S. Sharma. 2011. Effect of sewage-water irrigation on physico-chemical parameters with special reference to heavy metals in agricultural soil of Haridwar city. *Journal of Applied and Natural Science* 3:108–13.
- Perulli, G. D., Gaggia, F., Sorrenti, G., Donati, I., Boini, A., Bresilla, K., ... & Morandi, B. (2021). Treated wastewater as irrigation source: A microbiological and chemical evaluation in apple and nectarine trees. *Agricultural Water Management*, 244, 106403.
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y. & Pessarakli, M., (2013). Changes in endogenous hormonal status in corn (*Zea mays* L.) hybrids under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*. 36: 1695-1707.

- Pirzad, A. ve Mohammadzadeh, S. (2018). Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* ve *Thymus vulgaris*). *Agricultural Water Management*, 204, 1-10.
- Polat, T., (2007). Farklı Sıra Aralıkları ve Azot Seviyelerinin Kuru Sartlarda Yetiştirilen Aspir (*Carthamus Tinctorius* L.) Bitkisinin Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum.
- Proebsting, E.L. , Drake, S.R., Evans, R.G., 1984. Irrigation management fruit quality and storage life of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 229-232.
- Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., Villalobos, F.J., 2016. Nitrogen fertilization I: the nitrogen balance. In: Villalobos, F.J., Fereres, E. (Eds.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing AG https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_24 Chapter 24.
- Rady, M.O., Semida, W.M., Abd El-Mageed, T.A., Howladar, S.M., Shaaban, A., 2020. Foliage applied selenium improves photosynthetic efficiency, antioxidant potential and wheat productivity under drought stress. *Int. J. Agric. Biol.* 24, 1293–1300.
- Raei, Y., A. Bagheri-Pirouz, J. Shafagh-Kolvanagh, S. Nasrollahzadeh and P. Aghaei-Gharachorlou. 2017. Effect of chemical and bio nitrogen fertilizer on yield and yield components of soybean under intercropping with maize. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 10: 90-96.
- Rahimi, A., Ahmadi, F. & Özyazıcı, G. (2019). Effect of Nitrogen Fertilizers on Yield and Antioxidant Enzymes of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water Stress Conditions. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(11), 100-109. <https://doi.org/10.7176/JSTR/5-11-12>
- Rahman, M. Z., Riesbeck, F., & Dupree, S. (2018). The opportunity versus risks in wastewater irrigation. In *Safe Use of Wastewater in Agriculture* (pp. 13-25). Springer, Cham.
- Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S.A., Masouleh, E.H., 2019. Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. *Int. J. Plant Prod.* 13, 297–308. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00055-7>.
- Rajabi, M., Fetri, M., Ghobadi, M. E., Arman, M. H. F., & Asadian, G. (2013). Foliar application of Zn and Mn fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(7), 718-722.
- Rao, S.S., Tanwar, S.P.S., Regar, P.L., 2016. Effect of deficit irrigation, phosphorous inoculation and cycocel spray on root growth: seed cotton yield and water productivity of drip irrigated cotton in arid environment. *Agric. Water Manage.* 169, 14–25.
- Rawashdeh, H. M. (2017). Sunflower seed yield under trickle irrigation using treated wastewater. *African Journal of Agricultural Research*, 12(21), 1811-1816.
- Reda, M., El-Sayed, A. E. K., & Almutairi, A. (2020). Fatty Acid Profiles and Fuel Properties of Oils from Castor Oil Plants Irrigated by Microalga-treated Wastewater. *Egyptian Journal of Botany*, 60(3), 797-804.
- Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshstein, I., Fisher, F., Huber-Lee, A., Joyce, B., Kan, I., 2017. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: a statewide long-term perspective. *Ecol. Econ.* 135, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.013>.

- Riaz, A., Rafique, M., Aftab, M., Qureshi, M. A., Javed, H., Mujeeb, F., & Akhtar, S. (2019). Mitigation of salinity in chickpea by Plant Growth Promoting Rhizobacteria and salicylic acid. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(3), 221-228.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook No. 60).
- Ritchie, G.L., Whitaker, J.R., Bednarz, C.W., Hook, J.E., 2009. Subsurface drip and overhead irrigation: a comparison of plant boll distribution in upland cotton. *Agron. J.* 101 (6), 1336–1344.
- Roman-Ponce, B., REZA-VÁZQUEZ, D. M., Gutierrez-Paredes, S., María de Jesús, D. E., Maldonado-Hernandez, J., Bahena-Orsorio, Y., ... & VÁSQUEZ-MURRIETA, M. S. (2017). Plant growth-promoting traits in rhizobacteria of heavy metal-resistant plants and their effects on *Brassica nigra* seed germination. *Pedosphere*, 27(3), 511-526.
- Ruzzi, M., Aroca, R., 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Sci. Hort.* 196, 124–134.
- Saad, A. M., Elhabbak, A. K., Abbas, M. H., Mohamed, I., AbdelRahman, M. A., Scopa, A., & Bassouny, M. A. (2022). Can deficit irrigations be an optimum solution for increasing water productivity under arid conditions? A case study on wheat plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 103537.
- Sadak, A., (2018). Kuraklık Stresi Altındaki Biber Fidelerinde PGPR Uygulamaların Etkisi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Saeidi, M., Yaghoub, R. A. E. I., Amini, R., Taghizadeh, A., & Pasban-Eslam, B. (2018). Changes in fatty acid and protein of safflower as response to biofertilizers and cropping system. *Turkish Journal of Field Crops*, 23(2), 117-126.
- Safi-naz SZ, Haaban MM (2015) Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower plants. *Int J ChemTech Res.* 8:114-122.
- Sahin, U., Ekinci, M., Kiziloglu, F. M., Yildirim, E., Turan, M., Kotan, R., & Ors, S. (2015a). Ameliorative effects of plant growth promoting bacteria on water-yield relationships, growth, and nutrient uptake of lettuce plants under different irrigation levels. *Hortscience*, 50(9), 1379-1386.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M., (2015b). Response of cucumbers to different irrigation regimes applied through drip-irrigation system. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(1), 198-205.
- Salem, G. S. A. (2018). Root Microbial Interactions to Enhance Wheat Productivity under Water Stress (Doctoral dissertation, Colorado State University).
- Saliba, R., Callieris, R., D'Agostino, D., Roma, R., & Scardigno, A. (2018). Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. *Agricultural Water Management*, 204, 60-68.
- Samancıoğlu, A., Yıldırım, E., & Şahin, Ü. (2016). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteri Uygulamalarının Farklı Sulama Seviyelerinde Yetiştirilen Lahanada Fide Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(3), 332-338.
- Sefaoğlu F., (2017). Farklı Ekim Normları Ve Sıra Arası Mesafelerin Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Bitkisinin Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum.

- Sesveren, S., & Taş, B. (2022). Response of *Lactuca Sativa* Var. Crispa to deficit irrigation and leonardite treatments. *All Life*, 15(1), 105-117.
- Seyedsharifi, R., & Khorramdel, S. (2015). Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation by plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) on yield, yield components and grain filling period of soybean (*Glycine max* l.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 738-753.
- Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., Önder, D., & Çolak, Y. (2014). Farklı Sulama Programlarının Yağlık Ayçiçeğinde Verim, Verim Bileşenleri Ve Su Kullanım Randımanına Etkileri.
- Sezen, S. M., Yucel, S., Tekin, S., & Yıldız, M. (2019). Determination of optimum irrigation and effect of deficit irrigation strategies on yield and disease rate of peanut irrigated with drip system in Eastern Mediterranean. *Agricultural Water Management*, 221, 211-219.
- Sezen, Y., 1991. Toprak Kimyası. Atatürk Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 127, Erzurum.
- Shabani, A., Sepaskhah, A., Kamgar-Haghighi, A., 2013b. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *Int. J. Plant Prod.* 7, 313–340.
- Shah, P., Abid, M., Kousar Yasmeen, T. N., Hakeem, A., Shaikh, N. J., Basheer, N., Darban, D., & Khan, A. (2022). Quality measurements of various types of wastewaters and their impacts on plant growth. *Pak. J. Bot*, 54, 2: 629-637.
- Shahrokhnia, M. H., & Sepaskhah, A. R. (2016). Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. *Agricultural Water Management*, 172, 18-30.
- Shahrokhnia, M. H., & Sepaskhah, A. R. (2017). Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*, 95, 126-139.
- Shareef, M., Gui, D., Zeng, F., Waqas, M., Zhang, B., & Iqbal, H. (2018). Water productivity, growth, and physiological assessment of deficit irrigated cotton on hyperarid desert-oases in northwest China. *Agricultural Water Management*, 206, 1-10.
- Sharifi, R. S. (2012). Study of nitrogen rates effects and seed biopriming with PGPR on quantitative and qualitative yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(7), 162-166.
- Sharifi, R. S., Namvar, A., & Sharifi, R. S. (2017). Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 236-243.
- Silva, E. R., Zoz, J., Oliveira, C. E. S., Zuffo, A. M., Steiner, F., Zoz, T., & Vendruscolo, E. P. (2019). Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)?. *Archives of Microbiology*, 201, 325-335.
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical ecology*, 51(2), 375-387.
- Singh, I., 2018. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions: a review. *European Journal of Biological Research* , 8(4) , 191-213.

- Singh, S. (2016). Water stress physiology and crop modeling of spring safflower under different irrigation management strategies. New Mexico State University.
- Singh, S., Angadi, S. V., Grover, K. K., Hilaire, R. S., & Begna, S. (2016). Effect of growth stage based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars. *Agricultural Water Management*, 177, 432-439.
- Singh, S., Angadi, S. V., Grover, K., Begna, S., & Auld, D. (2016). Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, 163, 354-362.
- Sönmez, N., Ayyıldız, M., 1964. Tuzlu ve Sodyumlu Toprakların Teşhis ve Islahı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 229, Ankara.
- Stojanović, Z. S., Uletilović, D. D., Kravić, S. Ž., Kevrešan, Ž. S., Grahovac, N. L., Lončarević, I. S., ... & Marjanović Jeromela, A. M. (2023). Comparative Study of the Nutritional and Chemical Composition of New Oil Rape, Safflower and Mustard Seed Varieties Developed and Grown in Serbia. *Plants*, 12(11), 2160.
- Süer, İ. E. (2011). Bazı aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinde farklı gelişme dönemlerinde yapılan sulamaların verim ve bazı agronomik özellikler üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.
- Şeker, T., 2019. Türkiye'deki Yerli Aspir (*Carthamus Tinctorius* L.) Çeşitlerinin Kuru Koşullarda Verim ve Bazı Kalite Performanslarının Belirlenmesi. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ordu.
- Tagore, G.S., Namdeo, S.L., Sharma, S.K., Kumar N., 2013. Effect of Rhizobium and phosphate solubilizing bacterial inoculants on symbiotic traits, nodule leghemoglobin, and yield of chickpea genotypes. *International Journal of Agronomy* Article ID 581627.
- Tahir, S., Gul, S., Aslam Ghori, S., Sohail, M., Batool, S., Jamil, N., ... & Butt, M. U. R. (2018). Biochar influences growth performance and heavy metal accumulation in spinach under wastewater irrigation. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1467253.
- Tanveer, S., & Ali, B. (2022). Evaluation of Bacillus and Rhizobium Strains to Enhance the Growth of *Vigna radiata* (L.) under Drought Stress. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 5(1), 101-112.
- Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Toprak Su Kaynakları, <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>.
- Telek, Ü., Akıncı, İ. E., & Küsek, M. (2019). Rhizobakteri İzolatlarının Kırmızı Biberin (*Capsicum annuum* L.) Verim ve Bitkisel Özellikleri Üzerine Etkileri. *Tarım ve Doga Dergisi*, 22(1), 62.
- Tinsley, J., 1967. Soil Science Manual of Experiment. Department of Soilsience, University of Aberdeen, Aberdeen.
- Torabi, B., Adibniya, M., & Rahimi, A. (2015). Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. *International Journal of Plant Production*, 9(3), 393-412.
- Tripathi, V. K., Rajput, T. B. S., & Patel, N. (2016). Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production*, 139, 396-406.
- Tsoutsos, T., Chatzakis, M., Sarantopoulos, I., Nikologiannis, A., & Pasadakis, N. (2013). Effect of wastewater irrigation on biodiesel quality and productivity from castor and sunflower oil seeds. *Renewable energy*, 57, 211-215.

- Tunc, T., & 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.
- Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R., & Dursun, A. (2014). Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3), 327-333.
- Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (2021), “Su ve Atıksu İstatistikleri, 2020” Haber Bülteni, Sayı: 37197; [https:// data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197).
- Tüzüner, A., 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ullah U, Ashraf M, Shahzad SM, Siddiqui AR, Piracha MA, Suleman M. Growth behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting rhizobacteria. *Soil Environ.* 2016;35(1):65–75.
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water Scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. *Sustainability*, 12(21), 9055.
- United States Environmental Protection Agency (1986) Quality criteria for water (Gold Book). EPA, USA. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-10/documents/quality-criteria-water-1986.pdf>
- USSL, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Agr. Handbook No. 60*, 122-126.
- Ventura, D., Consoli, S., Barbagallo, S., Marzo, A., Vanella, D., Licciardello, F., Cirelli, G.L., 2019. How to overcome barriers for wastewater agricultural reuse in Sicily (Italy)? *Water* 11 (2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w11020335>.
- Vergine, P., Salerno, C., Libutti, A., Beneduce, L., Gatta, G., Berardi, G., Pollice, A., 2017. Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *J. Clean. Prod.* 164, 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.239>
- Verma, J.P., Yadav, J., Tiwari, K.N., Kumar, A., (2013). Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecol. Eng.*, 51: 282-286.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63, 251-263.
- Wang, J. F., Wang, G. X., & Wanyan, H. (2007). Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: Wastewater recycling in the loess area of China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(9), 1093-1099.
- Wang, Z., Jin, M., Šimůnek, J., van Genuchten, M.T., 2013. Evaluation of mulched drip irrigation for cotton in arid Northwest China. *Irrig. Sci.* 32, 15–27.
- Wu, S. C., Cheung, K. C., Luo, Y. M., & Wong, M. H. (2006). Effects of inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on metal uptake by *Brassica juncea*. *Environmental Pollution*, 140(1), 124-135.
- Wu, W., Liao, R., Hu, Y., Wang, H., Liu, H., & Yin, S. (2020). Quantitative assessment of groundwater pollution risk in reclaimed water irrigation areas of northern China. *Environmental Pollution*, 261, 114173.

- WWAP. (2015). The united nations world water development report 2015: Water for a sustainable world united nations world water assessment programme (WWAP). Paris, France: UNESCO.
- Xiaomin G, Yong X, Shiyang Y, Honglu L et al (2019) Impact of longterm reclaimed water irrigation on the distribution of potentially toxic elements in soil: an in-situ experiment study in the North China Plain. *Int J Environ Res Public Health* 16:649.
- Yalin, D., Schwartz, A., Tarchitzky, J., & Shenker, M. (2021). Soil oxygen and water dynamics underlying hypoxic conditions in the root-zone of avocado irrigated with treated wastewater in clay soil. *Soil and Tillage Research*, 212, 105039.
- Yang, J., Jia, R., Gao, Y., Wang, W., & Cao, P. (2017). The reliability evaluation of reclaimed water reused in power plant project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 100, 012189.
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., & Kurtar, E. S. (2020). How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation?. *Agricultural Water Management*, 241, 106351.
- Yazdani, A. A., Saffari, M., & Ranjbar, G. (2019). Effect of application of treated wastewater on seed yield and heavy metals content of safflower cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(5), 1277-1286.
- Yazdani, A. A., Saffari, M., & 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. Petousi, I.; Daskalakis, G.; Fountoulakis, M.; Lydakis, D.; Fletcher, L.; Stentiford, E.; Manios, T. Effects of treated wastewater irrigation on the establishment of young grapevines. *Sci. Total Environ.* 2019, 658, 485–492. [CrossRef]
- Yeloojeh, K. A., Saeidi, G., & Sabzalian, M. R. (2020). Drought stress improves the composition of secondary metabolites in safflower flower at the expense of reduction in seed yield and oil content. *Industrial Crops and Products*, 154, 112496.
- Yurteri, T., (2016). Yozgat Şartlarında Farklı Mevsimlerde Ekimi Yapılan Aspir(*Carthamus Tinctorius* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının İncelenmesi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
- Zaidi, F. K., Mogren, S., Mukhopadhyay, M., & Ibrahim, E. (2016). Evaluation of groundwater chemistry and its impact on drinking and irrigation water quality in the eastern part of the Central Arabian graben and trough system, Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 120, 208-219.
- Zarei, T. (2022). Balancing water deficit stress with plant growth-promoting rhizobacteria: A case study in maize. *Rhizosphere*, 100621.
- Zhang, S., Yao, H., Lu, Y., Shan, D., & Yu, X. (2018). Reclaimed water irrigation effect on agricultural soil and maize (*Zea mays* L.) in northern China. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 46(4), 1800037.
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2017). Wastewater irrigation: Past, present, and future. *Wastewater treatment: Aims and challenges*. *Water*, 6(3), e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>.
- Zonta, J. H., Brandao, Z. N., Rodrigues, J. I. D. S., & Sofiatti, V. (2017). Cotton response to water deficits at different growth stages. *Revista Caatinga*, 30, 980-990.

- Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M. I., Qing, M., ... & Siddique, K. H. (2021). Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483.
- Zuazo, V. H. D., García-Tejero, I. F., Rodríguez, B. C., Tarifa, D. F., Ruiz, B. G., & Sacristán, P. C. (2021). Deficit irrigation strategies for subtropical mango farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 1-22.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Hasan ER
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzurum Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (2018)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (2024)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	
Almanca:	
Rusça:	
Diğer	
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	