



**FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞİŞEN SEVİYELERDE
ARITILMIŞ ATIK SU UYGULAMALARININ
SİLAJLIK MISIRDA SU KULLANIMI, BİTKİ VE
TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Talip ÇAKMAKCI

**Doktora Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
2018**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞİŞEN SEVİYELERDE
ARITILMIŞ ATIK SU UYGULAMALARININ SİLAJLIK MISIRDA
SU KULLANIMI, BİTKİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Talip ÇAKMAKCI

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



TEZ ONAY FORMU

**FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞİŞEN SEVİYELERDE ARITILMIŞ ATIK SU
UYGULAMALARININ SİLAJLIK MISIRDA SU KULLANIMI, BİTKİ VE
TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Talip ÇAKMAKCI tarafından hazırlanan bu çalışma, 03/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Tarımsal Yapılar ve Sulama Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** /~~oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Fatih M. KIZILOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yusuf UÇAR

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 06/12/2018 tarih ve ...4.8.../...2.4.... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞİŞEN SEVİYELERDE ARITILMIŞ ATIK SU UYGULAMALARININ SİLAJLIK MISIRDA SU KULLANIMI, BİTKİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Talip ÇAKMAKCI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Silajlık mısırdaki, farklı sulama yöntemleri ve sulama seviyeleriyle arıtılmış atık su uygulamalarının verim, kalite, su-verim ilişkisi ile bitki ve toprak özellikleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla 2015 ve 2016 yıllarında Van koşullarında yürütülen bu çalışmada, sulama yöntemlerini yüzey altı damla sulama (YA), yüzey üstü damla sulama (YÜ) ve geleneksel karık sulama (GS), sulama seviyelerini ise tam sulama (% 100; K0), % 33 kısıt (K1) ve % 67 (K2) kısıt uygulamaları oluşturmuştur. Arıtılmış atık su azot ve fosfor içerikleri dışında diğer özellikler açısından Ulusal Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre sorun yaratmayan su sınıfında yer almıştır.

Sulama suyu en az YA, en fazla ise GS yönteminde uygulanmıştır. YA yönteminde YÜ ve GS yöntemlerine kıyasla sırasıyla % 21 ve % 49 sulama suyu tasarrufu sağlanmıştır. Bitki su tüketimi de en düşük YA yönteminin % 67 kısıt konusunda (260,1 mm), en yüksek ise GS yönteminin tam sulanan konusunda (639,8 mm) belirlenmiştir. Silajlık ot ve kuru madde verimi arıtılmış atık su uygulamalarında temiz suya kıyasla daha yüksek belirlenmiş, su kısıtıyla verimler düşmüştür. Arıtılmış atık su uygulamalarıyla silajlık mısırın protein oranı artmış, ADF ve NDF oranı ise azalmıştır. Bitki ve toprakta arıtılmış atık su uygulamalarıyla element içeriklerinde artışlar, su kısıtıyla düşüşler gözlenmiştir. SPAD, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma indeksi arıtılmış atık su uygulamalarında daha yüksek belirlenmiştir. Arıtılmış atık su uygulanan toprakların deneme öncesi değerlere göre pH, CaCO_3 ve hacim ağırlıkları düşmüş, EC, organik madde, makro, mikro ve iz elementler, katyon değişim kapasitesi, tarla kapasitesi, devamlı solma noktası, agregat stabilitesi ve porozite değerleri ise artmıştır.

Su ve sulama suyu kullanım etkinlikleri en yüksek arıtılmış atık suyla tam sulanan uygulamalarda belirlenmiş, bu değerler YA yönteminde sırasıyla 21,48 kg/m^3 ve 22,43 kg/m^3 , YÜ yönteminde 16,94 kg/m^3 ve 17,85 kg/m^3 ve GS yönteminde 10,87 kg/m^3 ve 10,22 kg/m^3 olmuştur. Su - verim arasındaki doğrusal değişimler önemli olurken, verim tepki faktörü (ky) değerleri YA sulama yönteminde arıtılmış atık su ve temiz su uygulamalarında sırasıyla 1,77 ve 1,70; YÜ sulama yönteminde 1,47 ve 1,43; GS yönteminde ise 1,23 ve 1,19 olarak belirlenmiştir. Arıtılmış atık su uygulamaları özellikle YA yönteminde bitkinin fiziksel, fizyolojik özellikleri ve kalitesinde; toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerinde olumlu gelişmeler sağlamıştır. Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında yüzey üstü damla sulama yöntemi en ekonomik silajlık mısır üretimi sağlamıştır.

2018, 269 sayfa

Anahtar Kelimeler: arıtılmış atık su, yüzey altı damla sulama, silajlık mısır, su kısıtı

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION METHODS AND DIFFERENT LEVELS OF TREATED WASTEWATER APPLICATIONS ON WATER USE, CROP AND SOIL PROPERTIES ON SILAGE MAIZE

Talip ÇAKMAKCI

Atatürk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Struction and Irrigation Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

In this study, which is carried out under the conditions of Van in 2015 and 2016, in order to determine the effects of different levels of treated wastewater applications with different irrigation methods on yield, quality, water-yield relation, plant and soil properties, irrigation methods formed subsurface drip irrigation (SSDI), surface drip irrigation (SDI) and traditional furrow irrigation (TFI), irrigation levels were % 100 full; K0, deficit 33 % (K1) and 67 % (K2) deficit irrigation. The treated waste water is classified in terms of its properties (except for N and P contents) as non-hazardous water class according to the National Water Pollution Control Regulation.

Irrigation water was applied at least to SSDI and the maximum was applied to TFI method. In the compared to SDI and TFI methods SSDI method, irrigation water savings were achieved by 21% and 49%, respectively. Plant water consumption was also determined as 67 % of the lowest SSDI method (260,1 mm), and the highest as in the full irrigated (639,8 mm) of TFI method. Silage maize yield and dry matter content were higher in the treated wastewater applications compared to fresh water and were decreased with water deficits. Treated wastewater applications increased the protein ratio of the silage maize and the acid and neutral detergent fiber ratio decreased. Nutrient element content increased on treated waste water application and decreased by deficit irrigation in plant and soil. SPAD, leaf area index, leaf relative water content and membrane damage index were higher in treated wastewater applications. Compared to pre-test values the pH, CaCO₃ and bulk density of the treated wastewater applied soil decreased, while EC, organic matter, macro, micro and trace elements, cation exchange capacity, field capacity, permanent wilting point, aggregate stability and porosity values, increased.

Water and irrigation water use efficiency were determined with the highest treated wastewater in full irrigation applications and the values in the SSDI, SDI and TFI method were as follows; 48 kg m⁻³ and 22,43 kg m⁻³ in SSDI method; 16,94 kg m⁻³ and 17,85 kg m⁻³ in SDI methods and 10,87 kg m⁻³ and 10,22 kg m⁻³ in TFI method. While the linear changes between water and yield were yield response factor (ky) values significant, in treated wastewater and fresh water applications were found to be 1.77 and 1.70, respectively in SSDI method; 1.47 and 1.43, respectively in SDI method and finally 1.23 and 1.19, respectively in TFI method. Treated wastewater applications have improved the physical, physiological characteristics and quality of the plant; physical, chemical and hydraulic properties of soil especially in the SSDI method. The most economical production of silage maize was obtained from the SDI method in the irrigation conditions with treated wastewater.

2018, 269 pages**Keywords:** treated wastewater, subsurface drip irrigation, silage maize, water deficit

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim ve tez çalışmanın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında bilgilerini paylaşmaktan kaçınmayan, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösterici olan ve aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın hocam Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e;

Doktora tez izleme komitesi üyeleri olan Sayın Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT ve Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU hocalarıma, tezimin her aşamasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın hocam Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ'ye ve lisans- yüksek lisans eğitimim boyunca maddi manevi ve bilimsel desteğini her zaman gösteren değerli hocam Prof. Dr. Yusuf UÇAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince arıtılmış atık suların alınmasında yardımlarını esirgemeyen Van-İskele Atık Su Arıtma Tesisi Müdürlüğü ve çalışanlarına, Deneme alanının hazırlanmasında yardımcı olan Van YYÜ Araştırma ve Uygulama Çiftlik Müdürlüğü ve personeline, Van YYÜ Ziraat Fakültesi Dekanlığı ve personeline, toprak ve bitki analizlerinin yapılmasında destek olan Van YYÜ Bilim Uygulama ve Araştırma Merkezi personeline, mısır tohumunun teminini sağlayan TAREKS Tarım Ürünleri A.Ş.'ye, su analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Dr. Öğr. Ü. Ataman Altuğ ATICI' ya, analizlerin yapımında ve yorumlanmasında yardımcı olan Dr. Öğr. Ü. Mehmet TÜRKMENOĞLU'na ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin kurulumunda, yürütülmesinde, toprak, bitki, su ve istatistik analizlerinde her zaman yanımda ve yardımcı olan değerli eşim Arş. Gör. Özlem ÇAKMAKCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime şükranlarımı sunarım.

Talip ÇAKMAKCI

Aralık, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Atık Su, Önemi ve Riskler	5
2.2. Dünyada Atık Su Kullanımı	7
2.3. Türkiye’de Atık Su Potansiyeli ve Arıtımı	13
2.3.1. Türkiye’de atık su kullanımı hakkında yönetmelikler ve tebliğler	13
2.4. Atık Suyun Tarımda Kullanımının Etkileri ile İlgili Çalışmalar	19
2.5. Yüzey Üstü ve Yüzey Altı Damla Sulama Yöntemi ile İlgili Çalışmalar	34
2.6. Silajlık Mısırdan Verim ve Kaliteyle İlgili Çalışmalar	37
2.7. Silajlık Mısırdan Su Kısıtıyla İlgili Çalışmalar	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM	44
3.1. Materyal	44
3.1.1. Araştırma yeri	44
3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri	45
3.1.3. Deneme tarlasının toprak özellikleri	48
3.1.4. Deneme bitkisi özellikleri	50
3.1.5. Sulama suyu kaynakları	50
3.1.6. Sulama yöntemleri	52
3.1.7. Toprak hazırlığı, ekim ve hasat	53
3.1.8. Bakım ve gübreleme	54
3.2. Yöntem	55
3.2.1. Deneme konuları	55

3.2.2. Deneme düzeni	56
3.2.3. Sulama zamanının belirlenmesi ve nem ölçümleri	57
3.2.4. Sulama suyu gereksiniminin belirlenmesi	58
3.2.5. Bitki su tüketiminin belirlenmesi	59
3.2.6. Su kullanım etkinliği (WUE) ve Sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE)' nin belirlenmesi	59
3.2.7. Su-verim ilişkisi	60
3.2.8. Bitki ölçümleri ve analizleri	61
3.2.8.1. Bitkilerde fiziksel ölçümler	61
3.2.8.2. Bitki kimyasal analizleri	62
3.2.8.3. Klorofil içeriğinin belirlenmesi	64
3.2.8.4. Yaprak oransal su içeriği	65
3.2.8.5. Yaprak alan indeksi	65
3.2.8.6. Membran zararlanmasının belirlenmesi	66
3.2.9. Toprak örneklerinin alınması ve analizleri	67
3.2.10. Su örneklerinin alınması ve analizleri	70
3.2.11. İstatistiksel analiz	72
3.2.12. Ekonomik analiz	73
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	74
4.1. Sulama Sularının Özellikleri	74
4.2. Sulama Suyu Miktarları	80
4.3. Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	82
4.4. Mevsimlik Bitki Su Tüketim Değerleri	87
4.5. Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Değerleri	90
4.5.1. Bitki boyu	90
4.5.2. Gövde çapı	92
4.5.3. Silajlık ot verimi	94
4.5.4. Kuru madde verimi	98
4.5.5. Ham protein oranı	100
4.5.6. ADF (Asit Deterjan Lif) ve NDF (Nötral Deterjan Lif) oranı	102
4.5.7. Bitki makro- mikro element ve ağır metal içerikleri	106

4.6. Bitkide Bazı Fizyolojik Özelliklerde Değişimler	122
4.6.1. Klorofil içeriği (SPAD)	122
4.6.2. Yaprak oransal su içeriği	125
4.6.3. Yaprak alan indeksi	127
4.6.4. Membran zararlanma indeksi	130
4.7. Toprak Özelliklerindeki Değişimler	132
4.7.1. Toprakların kimyasal özellikleri	132
4.7.2. Toprakların fiziksel özellikleri	162
4.7.3. Toprakların hidrolik özellikleri	168
4.8. Su Kullanım Etkinliği (WUE) ve Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (IWUE)	172
4.9. Su-Verim İlişkisi	176
4.10. Ekonomik Analiz	177
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	180
KAYNAKLAR	184
EKLER	205
EK 1	205
EK 2	206
EK 3	207
EK 4	208
EK 5	209
EK 6	210
EK 7	211
EK 8	212
EK 9	213
EK 10	214
EK 11	215
EK 12	216
EK 13	217
EK 14	218
EK 15	219

EK 16	220
EK 17	221
EK 18	222
EK 19	223
EK 20	224
EK 21	225
EK 22	226
EK 23	227
EK 24	228
EK 25	229
EK 26	230
EK 27	231
EK 28	232
EK 29	233
EK 30	234
EK 31	235
EK 32	236
EK 33	237
EK 34	238
EK 35	239
EK 36	240
EK 37	241
EK 38	242
EK 39	243
EK 40	244
EK 41	245
EK 42	246
EK 43	247
EK 44	248
EK 45	249
EK 46	250

EK 47	251
EK 48	252
EK 49	253
EK 50	254
EK 51	255
EK 52	256
EK 53	257
EK 54	258
EK 55	259
EK 56	260
EK 57	261
EK 58	262
EK 59	223
EK 60	264
EK 61	265
EK 62	266
EK 63	267
EK 64	268
EK 65	269
ÖZGEÇMİŞ	270

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
γ_t	Hacim ağırlığı
μ	Mikron
cm	Santimetre
cmol	Santimol
cm ³	Santimetreküp
C _r	Kapılar yükselme
dS	Desisimens
D _w	Derine sızma
G _s	Özgül ağırlık
kg	kilogram
n	Porozite
R _f	Yüzey akış

Kısaltmalar

ADF	Asit detarjan lif
AKM	Askıda katı madde
AS	Artılmış atık su
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
DSN	Devamlı solma noktası
EC	Elektriksel iletkenlik
ESP	Değişebilir sodyum yüzdesi
ET	Evapotranspirasyon
GS	Geleneksel karık sulama
IWUE	Sulama suyu kullanım etkinliği
KDK	Kasyon değişim kapasitesi
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı

ky	Verim tepki faktörü
LSİ	Langelier saturasyon indeksi
MZİ	Membran zararlanma indeksi
NDF	Nötral deterjan lif
RSC	Kalıcı sodyum karbonat
SAR	Sodyum adsorbsiyon oranı
SKKY	Su kirliliği kontrol yönetmeliği
TK	Tarla kapasitesi
TN	Toplam azot
TP	Toplam fosfor
TS	Temiz su
YA	Yüzey altı damla sulama
YAI	Yaprak alan indeksi
YOSİ	Yaprak oransal su içeriği
YÜ	Yüzey üstü damla sulama
WUE	Su kullanım etkinliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2012 yılı tarımda su kullanım oranları	2
Şekil 3.1. Deneme bölgesi uydu görüntüsü	44
Şekil 3.2. Deneme alanının 2016 yılı uydu görüntüsü	45
Şekil 3.3. Deneme alanında kurulu meteoroloji istasyonu	46
Şekil 3.4. 2015 ve 2016 yıllarında deneme alanında bireysel yağış miktarları	47
Şekil 3.5. Deneme alanı örnekleme profili	48
Şekil 3.6. Van İskele Atık Su Arıtma Tesisi çıkış suyu	51
Şekil 3.7. Arıtılmış atık suyu taşıma aracı	51
Şekil 3.8. Arıtılmış atık suyun deneme alanında depolanması	51
Şekil 3.9. Ana boru ve manifold boruların görünümü	52
Şekil 3.10. Yüzey altı damla sulama sisteminde lateralın görünümü	52
Şekil 3.11. Deneme alanı toprağının hazırlanması	53
Şekil 3.12. Pünomatik mibzerle ekim yapılması	54
Şekil 3.13. Ara çapalaması yapılan parsel görüntüsü	55
Şekil 3.14. Deneme parsellerinin yerleşim planı	57
Şekil 3.15. Bitki boyunun ölçülmesi	61
Şekil 3.16. Bitki gövde çapının ölçülmesi	62
Şekil 3.17. Azot tayini	63
Şekil 3.18. Yüksek basınca dayanıklı yaş yakma tüpleri	63
Şekil 3.19. Yaş yakma işlemi	64
Şekil 3.20. SPAD ölçümü	64
Şekil 3.21. Yaprak alanının ölçülmesi	66
Şekil 3.22. Membran zararlanmasının belirlenmesi	67
Şekil 3.23. Toprak örneklerinin depolanması-korunması	68
Şekil 3.24. Basınçlı membran aletinde tarla kapasitesi ve solma noktasının belirlenmesi	69
Şekil 4.1. Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2015 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri	83

Şekil 4.2. Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2016 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri	84
Şekil 4.3. Temiz suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2015 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri	85
Şekil 4.4. Temiz suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2016 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri	86
Şekil 4.5. Sulamasız koşulda 2015 ve 2016 yılı toprak nem değişimleri	87
Şekil 4.6. 2015 ve 2016 yılı mevsimlik bitki su tüketim değerleri	88
Şekil 4.7. Bitki Fe içeriği ile SPAD arasındaki ilişki	123
Şekil 4.8. Arıtılmış atık ve temiz su uygulamalarında verim tepki faktörleri	176

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Kıtaici su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri	14
Çizelge 2.2.	Toprakta izin verilebilir ağır metal değerleri	16
Çizelge 2.3.	Sulama suyu kalitesini değerlendirme ölçütleri	17
Çizelge 2.4.	Sulama sularında izin verilebilir ağır metal miktarları	17
Çizelge 2.5.	Arıtılmış atık su kullanımında sulama yöntemlerinin karşılaştırılması	18
Çizelge 2.6.	Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalite ölçütleri .	18
Çizelge 3.1.	Van ili uzun yıllar (Anonim 2016) ve deneme alanı 2015 ve 2016 yıllarına ilişkin iklim verileri	47
Çizelge 3.2.	Deneme tarlası toprağının ekim öncesi bazı fiziksel ve hidrolik özellikleri	49
Çizelge 3.3.	Deneme tarlası toprağının ekim öncesi bazı kimyasal özellikleri	49
Çizelge 3.4.	Deneme tarlası toprağının ekim öncesi mikro element ve ağır metal içerikleri	49
Çizelge 4.1.	2015 yılında denemede kullanılan sulama sularına ait analiz sonuçları	75
Çizelge 4.2.	2016 yılında denemede kullanılan sulama sularına ait analiz sonuçları	76
Çizelge 4.3.	2015 yılında uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları	80
Çizelge 4.4.	2016 yılında uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları	81
Çizelge 4.5.	Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) bitki boyuna (cm) etkisi	91
Çizelge 4.6.	Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) gövde çapına (mm) etkisi	93
Çizelge 4.7.	Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) silajlık yeşil ot verimine (kg/da) etkisi	97
Çizelge 4.8.	Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) kuru madde verimine (kg/da) etkisi	99

Çizelge 4.9. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) ham protein oranına (%) etkisi	101
Çizelge 4.10. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) ADF oranına (%) etkisi	104
Çizelge 4.11. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) NDF oranına (%) etkisi	105
Çizelge 4.12. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) N içeriğine (%) etkisi	107
Çizelge 4.13. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) P içeriğine (mg/kg) etkisi	108
Çizelge 4.14. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) K içeriğine (mg/kg) etkisi	109
Çizelge 4.15. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Ca içeriğine (mg/kg) etkisi	110
Çizelge 4.16. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Mg içeriğine (mg/kg) etkisi	111
Çizelge 4.17. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) B içeriğine (mg/kg) etkisi	113
Çizelge 4.18. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Fe içeriğine (mg/kg) etkisi	114
Çizelge 4.19. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cu içeriğine (mg/kg) etkisi	115
Çizelge 4.20. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Mn içeriğine (mg/kg) etkisi	116
Çizelge 4.21. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Zn içeriğine (mg/kg) etkisi	117
Çizelge 4.22. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Pb içeriğine (mg/kg) etkisi	118
Çizelge 4.23. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cd içeriğine (mg/kg) etkisi	119

Çizelge 4.24. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cr içeriğine (mg/kg) etkisi	120
Çizelge 4.25. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Ni içeriğine (mg/kg) etkisi	121
Çizelge 4.26. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) SPAD değerlerine etkisi	124
Çizelge 4.27. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) yaprak oransal su içeriğine etkisi	126
Çizelge 4.28. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) yaprak alan indeksine etkisi	129
Çizelge 4.29. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) membran zararlanma indeksine etkisi	131
Çizelge 4.30. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda pH'ya etkisi	135
Çizelge 4.31. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında elektriksel iletkenliğe (dS/m) etkisi	136
Çizelge 4.32. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında organik maddeye (%) etkisi	137
Çizelge 4.33. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında CaCO_3 'e (%) etkisi	140
Çizelge 4.34. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında KDK (%)'ya etkisi	141
Çizelge 4.35. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında değişebilir Ca (cmol/kg) içeriğine etkisi .	142
Çizelge 4.36. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanında değişebilir Mg (cmol/kg) içeriğine etkisi	143
Çizelge 4.37. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda değişebilir Na (cmol/kg) içeriğine etkisi	144
Çizelge 4.38. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda değişebilir K (cmol/kg) içeriğine etkisi	145

Çizelge 4.39. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında ESP'ye etkisi	148
Çizelge 4.40. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda toplam N içeriğine (%) etkisi	149
Çizelge 4.41. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda P ₂ O ₅ içeriğine (kg/da) etkisi	150
Çizelge 4.42. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda K ₂ O içeriğine (kg/da) etkisi	151
Çizelge 4.43. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda B içeriğine (%) etkisi	153
Çizelge 4.44. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Fe içeriğine (mg/kg) etkisi	154
Çizelge 4.45. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cu içeriğine (mg/kg) etkisi	155
Çizelge 4.46. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Zn içeriğine (mg/kg) etkisi	156
Çizelge 4.47. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Mn içeriğine (mg/kg) etkisi	157
Çizelge 4.48. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Pb içeriğine (mg/kg) etkisi	158
Çizelge 4.49. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cr içeriğine (mg/kg) etkisi	159
Çizelge 4.50. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cd içeriğine (mg/kg) etkisi	160
Çizelge 4.51. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Ni içeriğine (mg/kg) etkisi	161
Çizelge 4.52. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında hacim ağırlığına (g/cm ³) etkisi	163
Çizelge 4.53. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında özgül ağırlığa etkisi	164

Çizelge 4.54. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında porozite (%)’ye etkisi	166
Çizelge 4.55. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında agregat stabilitesine etkisi	167
Çizelge 4.56. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki tarla kapasitesinde tutulan suya (% Pw) etkisi	169
Çizelge 4.57. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki solma noktasında tutulan suya (% Pw) etkisi	170
Çizelge 4.58. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki tutulan yarayışlı suya (mm) etkisi	170
Çizelge 4.59. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların su kullanım etkinliğine (WUE) (kg/m ³) etkisi	173
Çizelge 4.60. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların sulama suyu kullanım etkinliğine (IWUE) (kg/m ³) etkisi	174
Çizelge 4.61. Farklı sulama yöntemlerinde ilk kurulum yılında atık su taşımali koşullarında 1 kg silajlık mısırın maliyeti (TL)	178
Çizelge 4.62. Farklı sulama yöntemlerinde ilk kurulum yılı sonrası atık su taşınım maliyetinin olmaması koşullarında 1 kg silajlık mısırın maliyeti (TL)	179

1. GİRİŞ

Su, her türlü yaşam faaliyetlerinin devam etmesinin ötesinde, çevreyi ve ekonomik kalkınmayı sürdürmek için temel bir kaynaktır. Genel olarak, su mevcudiyeti ve suya erişebilirlik, sosyal-ekonomik kalkınma ve gelişmiş yaşam standartlarındaki en önemli kısıtlamalardır (Winpenny *et al.* 2010). Su kıtlığı ve çevresel bozulma dünyanın birçok bölgesinde özellikle de gelişmekte olan ülkelerde karşılaşılan başlıca zorluklardır. Bazı araştırmalara göre, bugün dünya nüfusunun % 40' ında su yetersizliği baskısı yaşanmaktadır (Calzadilla *et al.* 2011). Önümüzdeki yıllarda da su taleplerinde hızlı nüfus artışı, kentleşme, artan gıda talebi ve iklim değişikliğine bağlı ciddi bir artış sonucunda su kıtlığı yaşanacağı aşıkardır.

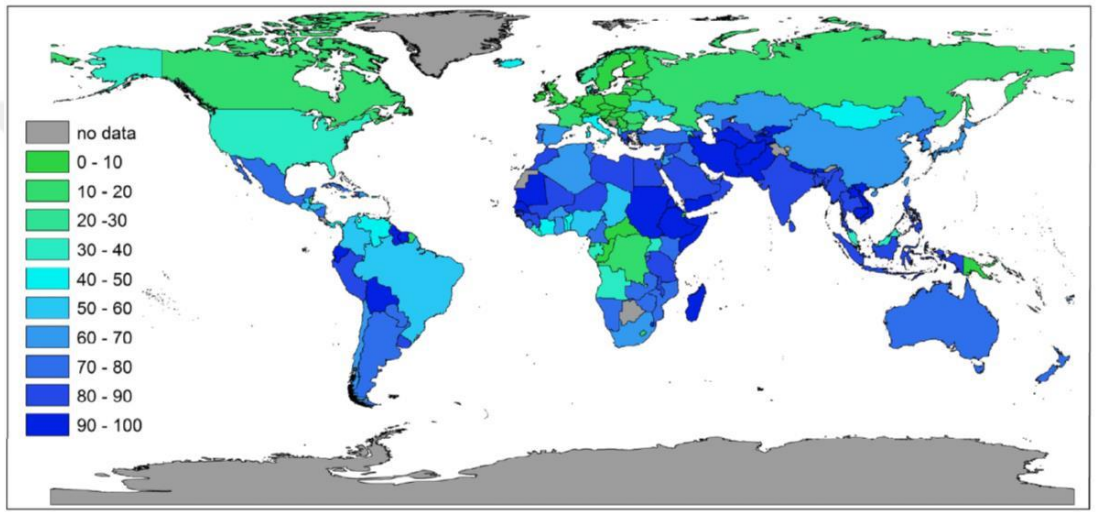
Mevcut dünya nüfusu 7,6 milyar olup, 2050 yılında 9,8 milyar olacağı ve bu nüfusun % 66'sının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir (UN 2014; 2017). Yine Birleşmiş milletler verilerine göre Türkiye şehir nüfusunun da 2014 yılında 55 milyon kişi iken, 2050 yılında 79 milyona ulaşacağı ve böylece toplam nüfusun %84' ünün şehirlerde yaşayacağı ifade edilmektedir (UN 2014). Dünya nüfusundaki artışın gıda üretiminde su temini üzerine önemli bir etkisi olacaktır. 2050 yılındaki gıda üretim hedeflerini karşılamak için gerekli su ihtiyacının % 53, mevcut arazilerin % 38 artırılması gerektiği tahmin edilmektedir (Mancosu *et al.* 2015).

Su talebindeki sürekli artışı karşılamak çoğu zaman yüksek bir maliyet getirirken kullanılabilir yüzey suları giderek tükenmekte, pek çok nehir artık denizlere ulaşmamakta ve sulak alanlar kaybedilmektedir (Elgallal 2016). Ayrıca yeraltı suyunun gereğinden fazla kullanılması, su seviyesinin her yıl düşmesine neden olmakta ve mevcut temiz su kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşturmaktadır (Gourbesville 2008).

Birçok ülkede, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, su temini ile su talebi arasındaki dengesizlik kritik seviyelere gelmiştir (Elgallal 2016). Su kıtlığı karşısında

birçok ülke, daha sürdürülebilir tedarik seçenekleri için su talebi yönetimi ve su tasarrufunun önemini giderek daha fazla fark etmiştir (Winpenny *et al.* 2010).

Tarım, dünya tatlı su kullanımının yaklaşık % 70' ine, geliştirmekte olan ülkelerde ise >% 80 'ine karşılık gelen bir oranla suyu en çok kullanan sektördür (Şekil 1.1) (Lazarova and Bahri 2004, Mancosu *et al.* 2015).



Şekil 1.1. 2012 yılı tarımda su kullanım oranları (Mancosu *et al.* 2015)

Dünyada üretimi yapılan gıda maddeleri, tüm tüketimi karşılayabilecek miktardadır. Fakat, üretim ve tüketimin bölgelere göre dağılım eşitsizliğinden dolayı kişi başına düşen üretimde değişmektedir. Tarımsal istihdam geliştirmekte olan ülkelerde % 60' larda iken gelişmiş ülkelerde bu oran % 7'lere kadar düşmüştür. Yani geliştirmekte olan ülkelerde üretim yapan bir kişi 2 kişiyi beslemekte iken, gelişmiş ülkelerde 14 kişiyi beslemektedir. Ülkemizde ise oran yaklaşık % 25 olup, bir kişi 4 kişinin beslenmesini sağlamaktadır (DSİ 2017). Tarım, gıda ihtiyacını karşılanmasının yanında kalkınma için de finansman sağlamaktadır. Tarım ve sanayinin ilişki içinde olması ve karşılıklı olarak birbirini beslemesi ile ekonomik büyüme ve ilerleme olmaktadır.

Türkiye'nin ekonomik olarak sulanabilecek tarım alanı 8,5 milyon ha olup bu alanın yaklaşık % 73' ü olan 6,2 milyon ha alan sulamaya açılmıştır. Beslenme için gıda

ihtiyacının ve sanayinin sürekliliği için gerekli olan üretimin yapılması gerekmektedir. Bu yüzden sulanamayan 2,3 milyon ha alanında sulanabilir hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır (DSİ 2017).

Ülkemizin 2017 yılı nüfusu 80 810 525 kişidir (TÜİK 2017). Mevcut durumda tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli de 112 milyar m³ olarak belirtilmektedir (DSİ 2017). Bu verilere göre yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1 386 m³ tür ve bu miktarla Türkiye su azlığı çeken bir ülke konumundadır. Ülkemizde nüfus artışına paralel olarak gıda gereksinimi de arttığından mevcut su kaynaklarımızın verimli kullanılması ve başta atık su olmak üzere alternatif su kaynaklarına olan yönelimlerin giderek ön plana çıkarılması gerekmektedir.

Artan su ihtiyacına bağlı olarak tarımsal ve yüksek-ekonomik-değerli kentsel ve endüstriyel kullanımlar arasındaki rekabetin artması nedeniyle, atık sular birçok ülkede (özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip) mevcut suyun giderek düşük maliyetli ve güvenilir bir alternatifi haline gelmiştir (Scott *et al.* 2004, Jimenez and Asano 2008). Diğer taraftan atık suların arıtılmadan direkt olarak kullanılması sağlık ve çevresel risk oluşturduğu için birçok ülkede de endişe verici olmaktadır (WHO 2006). Dünyanın gelişmekte olan birçok ülkesinde devlet politikaları atık suyun çevreye bırakılmadan ve tarımsal sulamada kullanılmadan önce arıtılmasını önermektedir (Drechsel *et al.* 2002). Bununla birlikte, küresel olarak atık su arıtma standartlarının sağlanması, sınırlı finansal kaynaklar ve kurumsal kapasite nedeniyle birçok ülkede zor olmaktadır (UN 2014). Gelişmekte olan ülkelerde tarımda kullanılan su, toplam su tüketiminin 4/5'ini oluşturduğu için atık suyun arıtılıp kullanılması tarım için en iyi alternatiftir (Ndunda 2014).

Atık suların kesin bileşimi açık bir şekilde farklı kaynaklar ve zamanlar arasında değişmekle birlikte, su, ana bileşenidir. Atık suların yaklaşık olarak % 99' unun su ve % 1' inin askıda, kolloidal ve çözünmüş katı maddelerden oluştuğu bilinmektedir (UN 2014). Dolayısıyla arıtılmış atık sular, suyun ve diğer önemli bileşenlerin geri

kazanılması ve güvenli bir şekilde yeniden kullanılması dahil, çok sayıda fırsat sunmaktadır.

Birçok kurak ve yarı kurak bölgede, arıtılmış atık suyun tarımda yeniden kullanılmasının tarımsal üretimin sürdürülmesine önemli ölçüde katkıda bulunduğu bilinmektedir (Lazarova and Bahri 2004; Gourbesville 2008). Orta Doğu, Kuzey ve Güney Afrika, Kuzey Akdeniz ülkeleri, ABD, Avustralya ve Çin'in bir bölümünde atık suyun tarımda yeniden kullanılması geleneksel bir uygulama olup su kaynakları yönetiminin önemli bir parçası haline gelmiştir. Toplam su arzının % 10 ila 40' ını ve sulama suyu arzının da yaklaşık % 30 ila 70' ini temsil etmektedir (Raschid-Sally and Jayakody 2009).

Arıtılmış atık suların besleyici özelliği avantaj sağlamasına rağmen toksik element içeriği ve mikroorganizma varlığı sulama amaçlı kullanımı kısıtlamaktadır. Bu durumda daha az suyla kontrollü sulamaya olanak sağlayan randımanı en yüksek yöntem olan damla sulamanın kullanılmasıyla hem temiz su kaynaklarının daha etkili kullanımı ve hem de atık sudan kaynaklanacak özellikle biyolojik risklerin denetimi sağlanabilir. Ayrıca su kaynaklarının etkili kullanılması kapsamında kısıntılı sulama uygulamaları da pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeplerle daha önce çalışılmamış yarı kurak iklimli Van ili koşullarında farklı sulama yöntemleri ile değişen sulama seviyeleriyle arıtılmış atık su uygulamalarının temiz suyla karşılaştırılarak silajlık mısırın verim, kalite ve su kullanımı ile toprağın kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla bu araştırma yürütülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Atık Su, Önemi ve Riskler

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) AQUASTAT 2017 yılı verilerine göre, küresel tatlı su kullanımı yılda 3,928 km³ olarak tahmin edilmektedir. Bu suyun % 44'ü (yılda 1,716 km³) ekim alanlarında tüketilmekte, geriye kalan % 56' sıda (yılda 2,212 km³) atık su olarak belediye ve endüstriyel atık ve tarımsal drenaj suyu şeklinde çevreye salınmaktadır.

Artan su yetersizliği atık suyun yeniden kullanılması için önemli bir faktör olarak görülmekte ve bu nedenle de hem gelişmekte olan ülkelerde hem de gelişmiş ülkelerde tarımda atık suyun yeniden kullanımında artışlar görülmektedir. Tarımsal ve endüstriyel sektörler arasındaki rekabetin ve yüksek kaliteli temiz su kaynaklarının kentsel ve endüstriyel kullanımdaki ekonomik değerinin artması nedeniyle, atık su giderek daha düşük maliyetli ve güvenilir bir alternatif su kaynağı haline gelmiştir (Çakmakcı vd 2016).

Atık su, büyük ölçüde tüm yıl boyunca mevcut olan bir su ve besin kaynağı olarak kabul edilir (Hussain *et al.* 2002; Qadir and Scott 2010; Becerra-Castro *et al.* 2015). Suyun mevcudiyeti ve besleyici özellikleri, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde son derece değerli olmaktadır. Daha yüksek verim, çoklu ekim döngüsü ve daha geniş bir ürün yetiştirme yelpazesine izin vermektedir (Qadir and Scott 2010).

Meksika'daki Guanajuato Havzasında atık suyun kullanılmasının sonucu olarak gübre maliyetinde tasarrufun hektar başına 135 \$ olduğu tahmin edilmektedir. Bu tasarruf, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki fakir çiftçiler için önemli kazanç demektir (WHO 2006; Jiménez *et al.* 2010). Atık su, işlenmiş olsa bile, organik madde, makro besin maddeleri (N, P, K) bakımından zengin ve Fe, Zn, Mn ve Cu gibi çok sayıda mikro besin

maddesi açısından sentetik bir gübreden daha fazla içeriğe sahiptir. Evsel atık suyun hektar başına 1000 m³ kullanılması durumunda, 16-62 kg azot, 4-24 kg fosfor, 2-96 kg potasyum katkısı sağlayabileceği tahmin edilmektedir (Qadir *et al.* 2007). Bu nedenle, atık suların yeniden kullanılması sadece kimyasal gübre talebini ve çevreye olumsuz etkileri azaltmakla kalmaz aynı zamanda toprak yapısını ve fiziksel özelliklerini iyileştirmeye yardımcı olur (WHO 2006; Jiménez *et al.* 2010; Scheierling *et al.* 2010; Winpenny *et al.* 2010). Atık suyun toprak fiziksel özellikleri üzerine uzun vadeli etkisi üzerine yapılan birçok çalışma, atık suyun toprak fiziksel özellikleri ve toprak organik maddesi üzerinde faydalı etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Qadir and Scott (2010), Hindistan'da yaptıkları araştırmada, atık suyun 15 yıllık uygulamadan sonra % 80 oranında toprak organik karbonunu arttırdığını ve bu artışında sera gazlarının hızlandırılmış etkilerini hafifletebilir olduğunu bildirmişlerdir.

Atık suların güvenli bir şekilde kullanılması, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde, arıtılmamış veya kısmen arıtılmış suyun temiz su ortamına boşaltılmasından kaynaklanan atık su kirliliğinin etkilerini azaltmaya katkıda bulunmaktadır (Scheierling *et al.* 2010).

Sulamada, atık suyu yeniden kullanma potansiyeli yüksek olsa da dikkatli bir şekilde yönetilmediğinde tehlike yaratmaktadır. Çünkü arıtılmış atık suyun içinde besleyici maddeler dışında ağır metaller, tuzlar ve zararlı kimyasallar bulunmaktadır. Çevre bu bileşenlerin her biriyle ilişkili olduğundan atık su kullanımına dikkat edilmelidir (Kontas *et al.* 2004). Ayrıca, atık su sulaması, toprak ve yeraltı suları için olası bazı çevresel riskleri beraberinde getirmektedir. Birçok yeni araştırma, atık sulardaki sulamanın toprak ve yeraltı sularında tuzluluk ve ağır metaller üzerindeki etkilerine odaklanmıştır (Leal *et al.* 2009; Pereira *et al.* 2012).

Atık sular aynı zamanda insan sağlığı içinde bazı riskler taşımaktadır. Bu riskler atık suyun içinde çözülmüş patojenler ve kimyasallardan kaynaklanmaktadır. Atık suyun içindeki kimyasal maddelere (ağır metaller dahil) maruz kalma insanlara sağlık riskleri oluşturabilirse de doğrudan etkilere ilişkin kanıt sınırlıdır. Genel olarak, kentsel atık sudaki (endüstriyel atık suların sınırlı girişi ile) çoğu kimyasalın konsantrasyonları çok

düşüktür (WHO 2006; Agyei and Ensink 2016). Halk sağlığı açısından bakıldığında, patojenler, özellikle işlenmemiş ve kısmen işleme tabi tutulmuş evsel atık suyun kullanılmasıyla birincil risk olarak düşünülmektedir (WHO 2006). Çünkü arıtılmamış atık sularda ağır metal içeriği daha yüksek bulunmaktadır. Bu ağır metallerle kirlenmiş sebzelerin uzun süre tüketilmesi ile ilişkili bir sağlık tehlikesi söz konusudur (Kalavrouziotis *et al.* 2008; Gupta *et al.* 2010). Ayrıca, arıtılmış atık suyun içindeki zararlı organik kimyasalların oluşması, bitkilerin yenilebilir bölümünde birikirse insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Mapanda *et al.* 2005).

Buna ek olarak, arıtılmış atık suda bulunan çözünür bileşenler muhtemelen bitkiler için toksik olabilecek seviyelerde olabilir ve ayrıca toprak profillerinde depolanabilirler. Tuzluluk yeniden kullanma planları için çok önemli bir konudur (Muyen *et al.* 2011). Tuzlar ya ozmotik strese neden olarak ya da doğrudan toksisite ile bitkileri etkileyebilir. Sodiklik, toprağın fiziksel özelliklerinde değişiklikler meydana getirir, en dikkat çekici etki toprak agregalarının dağılımıdır. Dispersiyon, şişme ve gevşeme gibi diğer işlemlerle birlikte, topraktan su ve havanın geçirgenliğini azaltarak ve kök penetrasyonunu engelleyerek bitkileri etkileyebilir (Warrington *et al.* 2007).

2.2. Dünyada Atık Su Kullanımı

Bir ülkenin endüstriyel ve belediye atık su arıtma seviyesi genellikle o ülkenin gelir düzeyinin bir yansımasıdır. Ortalama olarak, yüksek gelirli ülkeler ürettikleri atık suyun yaklaşık % 70' ini arıtırken, bu oran üst orta gelirli ülkelerde % 38'e ve daha düşük orta gelirli ülkelerde % 28'e düşmektedir. Düşük gelirli ülkelerde, sanayi ve belediye atık sularının sadece % 8' ine herhangi bir arıtım işlemi uygulanmaktadır (Sato *et al.* 2013). Küresel olarak, tüm atık suların % 80' inden fazlasının herhangi bir arıtma işlemi olmaksızın gelişigüzel deşarj edildiği tahmin edilmektedir (WWDR 2017).

Birçok ülkede doğrudan arıtılmamış atık suların kullanılması yasaklansa da tam olarak engellemek mümkün olamamaktadır. Arıtılmamış atık suyun doğrudan kullanımı

genellikle, kıtlık, kalite sorunları (örneğin tuzlu yer altı suyu) veya suya ulaşım maliyetleri (örneğin pompalama maliyeti) nedeniyle alternatif bir su kaynağına erişimin sınırlı olduğu düşük gelirli ülkelerde görülmektedir. Güney Asya, Latin Amerika ve Afrika'dan arıtılmamış atık suyun doğrudan kullanımı için pek çok örnek vardır (Wichelns *et al.* 2015).

Hindistan'daki Karnataka'da çiftçiler, yer altı suyunun ulaşım maliyetini karşılayamadıkları için, açık veya yer altı kanalizasyonlarından atık suyu sulama için kullanmaktadır (Cornish and Kielen 2004).

Güney Asya (Hindistan, Çin ve Vietnam), Batı Afrika, Orta Doğu (Suriye, Mısır, Ürdün ve Lübnan) ve Latin Amerika (Brezilya, Arjantin, Kolombiya ve Meksika)'da arıtılmamış atık suyun dolaylı kullanımı rapor edilmiştir (Wichelns *et al.* 2015). Örneğin, Çin-Pekin'de, üretilen atık suyun %50'si arıtma yapılmaksızın su kaynaklarına boşaltılarak çiftçiler tarafından kullanılmaktadır. Vietnam'daki Hanoi'de sebze üretimindeki atık su kullanımı yaklaşık %80' dir. Ayrıca, Batı Afrika'nın büyük şehirlerinde kentsel ve kent çevresindeki sebzelerin % 50 - % 90' ı atık su ile sulanmaktadır (Jiménez *et al.* 2010).

Ortadoğu'da artan kentsel nüfustan kaynaklanan artan atık su hacmini karşılayacak yeterli atık su arıtma tesisinin bulunmaması nedeniyle kanalizasyon sisteminden toplanan atık suların çoğu su alıcı ortamlarına boşaltılmakta ve çiftçiler yeterince arıtılmamış suyu kullanmaktadır (Sato *et al.* 2013).

Arıtılmış atık suyun planlı kullanımı çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Güney Avrupa ülkeleri dahil yüksek gelirli ülkelerdeki kurak ve yarı kurak bölgelerde görülmektedir. ABD'de mevcut geri kazanılan toplam atık suyun büyük bir kısmı tarımsal ve peyzaj amaçları için yeniden kullanılmaktadır ve California (%46) ve Florida (%44), tarımsal sulama için atık suyun yeniden kullanımının büyük kısmını oluşturmaktadır. California'da çiğ sebze, tahıl, çilek ve gıda dışı ürünlerde dahil olmak üzere arıtılmış atık sularla yaklaşık 20 farklı ürün çeşidi yetiştirilmektedir (Hamilton *et al.* 2007).

Güney Avrupa ülkelerinde, tarımsal sulamada, atık suların yeniden kullanıldığı projelerin oranı % 44' tür (Sato *et al.* 2013). Örneğin, İspanya'da, çoğunlukla tarımsal kullanım (% 71) ile diğer çevre hizmetleri (% 17) için ülke çapında 150'den fazla atık su geri kazanım projesi uygulanmaktadır (Guardiola-Claramonte *et al.* 2012, Sato *et al.* 2013). Fransa, arıtılmış atık su ile 3000 ha'dan fazla sulama amaçlı yaklaşık 30 atık su yeniden kullanma projesine sahiptir. İtalya'da yaklaşık 28 285 hektar alanda atık suyun kullanım alanı bulunmaktadır (Jimenez and Asano 2008).

Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkelerinde arıtılmış atık su ile sulama giderek yaygın bir uygulama halini almıştır. Örneğin, Arap Körfezi ülkelerinde arıtılmış atık suyun % 44'ü tarım için yeniden kullanılmaktadır (Jimenez and Asano 2008). Kuveyt'te tarım için atık suyun yeniden kullanımı, toplam su kullanımının yaklaşık % 35'ini oluşturmaktadır (Winpenny *et al.* 2010).

Yunanistan'da tarımsal sulama için atık suyun yeniden kullanımı Minos uygarlığında yaklaşık 5000 yıl önce, Almanya ve İngiltere de kullanımı da 16 ve 18. yüzyıllara kadar uzanmaktadır (Vigneswaran and Sundaravadivel 2004).

Arıtma teknolojileri kullanıma girmeden önce, birçok Avrupa ve Kuzey Amerika şehirlerinde su kaynaklarının kirlenmesini önlemek için tarım arazilerinde atık su kullanılmıştır. Çin, Meksika, Fas, Lübnan, Mısır, Peru, Hindistan ve Vietnam gibi gelişmekte olan ülkelerde atık su, son 30 yıl boyunca bitki besin maddeleri için iyi bir kaynak olarak kullanılmıştır (Drechsel *et al.* 2010).

Atık suyun yeniden kullanılması Mısır'da dolaylı olarak yüzyıllardır uygulanmıştır, ancak resmi atık suyun yeniden kullanımı 1911 yılında Kahire'nin kuzeydoğusunda El-Gabal El-Afsar olarak adlandırılan bölgede olmuştur (Misheloff 2010). Ayrıca yılda 2 ila 3 milyar m³ arıtılmış atık suyun Nil Nehri'ne tahliye edildiği ve sulama için kullanıldığı tahmin edilmektedir (Guardiola-Claramonte *et al.* 2012).

Hindistan'daki Hubli-Dharwad'da yapılan araştırmalar, atık suyun tekrar kullanılmasının çiftçilerin kuru sezonda ekin yetiştirmesine ve muson mahsullerinden üç ila beş kat daha fazla fiyata ürün satılmasına fırsat verdiğini ortaya koymuştur (Jiménez *et al.* 2010).

Arjantin'de, nüfusun sadece %35' i kanalizasyon sistemlerine bağlıdır ve toplanan kanalizasyonun yalnızca küçük bir yüzdesi arıtılmaktadır. 20. yüzyılın başından bu yana, batı bölgelerdeki (kurak bölgeler) yoğun nüfuslu bölgelerde, tarımsal sulama için arıtılmamış atık suyun büyük ölçekli kullanımı söz konusu olmuştur (EPA 2004).

Peru'daki kanalizasyonun sadece % 5'i deşarj edilmeden önce arıtılmaktadır. Çođunlukla ham atık suyun yeniden kullanımı, sebze, yem, orman ağačları, pamuk ve diğer bitkilerin tarımsal sulamaları için uygulanmaktadır (EPA 2004).

İtalya'nın bazı bölgelerinde, özellikle güney kesimlerinde, sulama suyu yetersiz gelmekte ve çiftçiler herhangi bir kontrol olmaksızın sulamada atık suyu kullanılmaktadır. (Barbagallo *et al.* 2001).

İsveç nispeten büyük miktarda tatlı suya sahiptir. En yüksek su talebi sanayide (% 55), belediye ve tarımsal talepler sırasıyla %36 ve %6' dır. Bununla birlikte, İsveç'in güneydoğu kesimlerinde tarımsal su talebi daha büyüktür ve yağış daha azdır. Ülkenin bu bölümünde arıtılmış atık su ile 40'dan fazla sulama projesi yapılmıştır (EPA 2004).

En büyük Akdeniz adalarından biri olan Sardinya'da su kıtlığı bir endişe kaynağıdır. Tekrarlayan kuraklıklar tarımsal üretime zararlar vermiştir. Bu nedenle, tarımsal sulama için arıtılmış atık suyun tekrar kullanımı yeni bir su kaynağı olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla, Cagliari şehrine ve banliyölerine hizmet eden "Is Arenas" arıtma tesisinde arıtılan su, Güney Sardunya sulama bölgesinde yaklaşık 7 900 hektar alanı sulamaktadır. Bu proje su kıtlığı sorunlarına ve çevre koruma konularına iyi bir çözüm gibi görünmektedir (Botti *et al.* 2009).

Pakistan'da atık suyun tarımsal sulama için yeniden kullanımı, ülkenin büyük kısmında yaygındır. Pakistan'ın üçüncü büyük şehri olan Faisalabad'da, 2 000 hektarın üzerinde tarım arazisi, arıtılmamış atık su ile sulanmaktadır. Faisalabad'da çiftçiler arıtılmış atık suyu değil de arıtılmamış atık suyu kullanmayı tercih ederler, çünkü arıtılmamış atık suyun besin açısından daha zengin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çiftçiler, arıtılmamış atık suyu kullanmalarının bir nedeni de yeraltı sularının çok tuzlu olmasıdır (Van der Hoek 2004; Jiménez *et al.* 2010; Wichelns *et al.* 2015). Pakistan'da genel olarak bu alanlarda yetiştirilen temel ürünler sebze, yem bitkileri ve buğdaydır (EPA 2004; Dare 2014).

Quetta'da, Pakistanlı çiftçiler, atık suyu kullanımı ile daha fazla ürün elde ettikleri için atık su kullanım bedelini temiz suya oranla 2,5 kat daha fazla yapmak istemişlerdir (WHO 2006). Pakistan'da, sebzelerin yaklaşık % 26'sı atık sular kullanılarak üretilmektedir ve benzer şekilde, Hanoi'de, sebzelerin yaklaşık % 80'i, atık suyu temiz su ile karıştırarak üretim yapmaktadır (Qadir *et al.* 2007).

Kuraklık yaşayan diğer bir ülke olan Umman, 1987'den bu yana arıtılmış atık suyun % 90' nını tarımsal sulama için kullanmaktadır. Umman'da arıtılmış atık suyun sulama için yeniden kullanılmasıyla ilgili resmi düzenlemeler de bulunmaktadır (EPA 2004).

İsrail, tarımsal sulama için arıtılmış atık suyun yeniden kullanılmasında dünya lideri konumundadır ve 2012 yılında arıtılmış atık suyun toplam temiz suya oranının neredeyse eşit olduğu tahmin edilmektedir (Schacht *et al.* 2016). Belediye atık suyunun yaklaşık % 65-70'i sulama için arıtılmakta ve kullanılmaktadır (Tal *et al.* 2003). Haruvy (1998), 2040 yılına kadar arıtılmış atık suyun İsrail ve Filistin bölgelerinde sulamanın ana kaynağı olacağını belirtmiştir.

Su kaynaklarının yetersizliğinden dolayı sıkıntı çeken diğer bir ülkede Kuveyt'tir. Son yıllarda üçüncül arıtılmış atık su kullanılarak 1600 hektarlık bir alanda yem bitkileri (çoğunlukla yonca) yetiştiriciliği yapılmaktadır (Arar 2006).

Ortadoğu'nun en fazla kuraklığa maruz kalmış Ürdün'ün giderek artan su ihtiyacını karşılamak için doğrudan veya dolaylı olarak geri kazanılmış 70 milyon m³ su kullanılmakta ve toplam ulusal su arzının yaklaşık % 10'una katkıda bulunmaktadır (Scheierling *et al.* 2010). Sulama için kullanılan arıtılmış su ile yaklaşık 10 665 ha alan sulanmaktadır. As-Samra olarak adlandırılan arıtma tesislerinden birinin suyu yaklaşık 19 000 ağaç sulanması için kullanılmaktadır (Nazzal 2005; Arar 2006).

Atık su ıslahı açısından Kuzey Afrika'da bir lider olarak tanınan Tunus'da toplanan atık suyun yaklaşık % 78'ini peyzaj sulama, yem ve endüstri bitkileri üretimi, hububat yetiştiriciliği ve üzüm bağları gibi meyve ağaçlarını sulamak için yeniden kullanılmaktadır (Carr *et al.* 2004, Winpenny *et al.* 2010, Qadir *et al.* 2010).

Japonya'da sık ve şiddetli kuraklıklar ile nüfus artışının hızlı olması nedeniyle su yetersizliği yaşandığından arıtılmış atık suyun büyük şehirlerde yeniden kullanılması söz konusu olmuştur. Son yıllarda arıtılmış atık suyun rekreasyon alanları, tarımsal sulama, tuvalet sistemleri, kar eritme ve endüstri de kullanımı yaygınlaşmıştır (Suzuki *et al.* 2011).

Atık suyun yeniden kullanımı kapsamında Kıbrıs'ta 25 milyon m³ atık su çoğunlukla tarımsal faaliyetler için geri dönüştürülmüştür ve 38 200 ha alanda arıtılmış atık sular kullanılmaktadır (Jimenez and Asano 2008).

Özetle, dünyanın değişik ülkelerinde suyun yeniden kullanılması nüfus artışı, küresel iklim değişikliği ve kentleşmeden dolayı su sıkıntısı çekme endişelerini ve sorunlarını onaylamaktadır. Bu yeniden kullanım, artan su ihtiyacını karşılamak için tatlı su kaynaklarının korunmasının yanı sıra diğer su kaynaklarını değerlendirmenin önemine işaret etmektedir.

2.3. Türkiye’ de Atık Su Potansiyeli ve Arıtımı

Ülkemizde atık su arıtma tesisi sayısı 2016 yılı TUİK verilerine göre 881 adet olup, arıtılan atık su miktarı ise 3,84 milyar m³/ yıl’dır. Toplam 1397 belediyenin 1338 tanesinde kanalizasyon şebekesi ve bu belediyelerin de 581 tanesinde atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atık su miktarı da 2016 yılı için ortalama 183 litre olarak tespit edilmiştir (TUİK 2017). Bu rakamlara göre arıtılmış atık suyun tarımda kullanımı ülkemiz açısından büyük önem arz etmektedir.

2.3.1. Türkiye’ de atık su kullanımı hakkında yönetmelik ve tebliğler

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de arıtılmış atık suyun kullanımı için bazı hukuki düzenlemeler bulunmaktadır. Bu düzenlemelerin ilki 7/1/1991 tarihli ve 20748 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin Uygulanmasına Dair Teknik Usuller Tebliği” dir. Daha sonra 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’te yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)” Madde 28’ de arıtılmış atık suların sulamada kullanımının sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıyan yörelerde, Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğindeki sulama suyu kalite kriterlerine uyulduğu takdirde izin verilebileceği belirtilmiştir. Aynı SKKY’ ye bağlı olarak, Su ortamlarının kalite sınıflandırılması ve planlama esasları, Atık su boşaltım ilkeri, Atık su miktarını ve zararını azaltmak için alınabilecek önlemler, Endüstriyel atık su deşarj standartları, Evsel nitelikli atık suların deşarj standartları, Alıcı ortamlara boşaltım için çevre izinlerinin alınması ile ilgili hükümler, Atık suyun toplanması ve bertarafı, Denetimler ve yaptırımlar gibi konuları yönetmelikte açıklanmıştır. 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği” ile kanalizasyon sistemlerine boşaltılan kentsel ve belirli endüstriyel atık suların toplanması, arıtılması, deşarjı, deşarjın izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesi gibi teknik ve idari esaslar belirlenmiştir. 13.02.2008 tarihinde 26786 nolu Resmi Gazete Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik kapsamında “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” yayımlanmıştır (Çizelge 2.1) (Anonim 2008).

Çizelge 2.1. Kıtaıçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim 2008).

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları			
A. Fiziksel ve inorganik-kimyasal par.	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 ²⁻ /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	0,01	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. Organik karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Toplam Kjeldahl-azotu (mg/l)	0,5	1,5	5	>5
5. Emülsifiye yağ ve gres (mg/l)	0,02	0,3	0,5	>0,5
6. Metilen mavisi aktif mad. (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 v 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. Kadmınyum (µg Cd/l)	3	5	10	>10
3. Kurşun (µg Pb/l)	10	20	50	>50
4. Arsenik (µg As/l)	20	50	100	>100
5. Bakır (µg Cu/l)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) (µg Cr/l)	20	50	200	>200
7. Krom (µg Cr ⁺⁶ /l)	*	20	50	>50
8. Kobalt (µg Co/l)	10	20	200	>200
9. Nikel (µg Ni/l)	20	50	200	>200
10. Çinko (µg Zn/l)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) (µg CN/l)	10	50	100	>100
12. Florür (µg F ⁻ /l)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor (µg Cl ₂ /l)	10	10	50	>50
14. Sülfür (µg S ²⁻ /l)	2	2	10	>10
15. Demir (µg Fe/l)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan (ug Mn/l)	10	200	3000	>3000
17. Bor (µg B/l)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	>1000

Çizelge 2.1. Kıtaçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim 2008) (devam)

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	20000	100000	>100000

(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 kriter 300 $\mu\text{g/l}$ ye kadar düşürmek gerekebilir.

(*)- Ölçülemeyecek kadar az

27.06.2009 tarihli ve 27271 sayılı Resmî Gazete ile “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği” yayınlanmıştır. Bu tebliğde hassas su alanları ve az hassas su alanlarının tespiti, izlenmesi ve bu alanlara yapılacak kentsel atık su deşarj usulleri ve esasları yer almaktadır. 2009 yılındaki tebliğden sonra 20 Mart 2010 tarihli ve 27527 sayılı Resmî Gazete’de “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” yürürlüğe girmiştir (Anonim 2010).

Atıkların kullanımı ile toprakta da bazı kirlenmeler söz konusudur. Mevcut toprakların korunması için 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı Resmi Gazete’ de “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” çıkmış 08.06.2010 tarihli ve 27605 sayılı Resmi Gazete’de “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik” yürürlüğe girerek 31.05.2005 tarihli yönetmelik yürürlükten kaldırılmıştır. Ayrıca 03.08.2010 tarihli 27661 sayılı Resmî Gazete’ de “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girerek toprakta bulunabilir ağır metallerin sınır değerleri güncellenmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Toprakta izin verilebilir ağır metal değerleri

Ağır metal	$6 \leq \text{pH} < 7$	$\text{pH} \geq 7$
	Fırın kuru toprak (mg/kg)	Fırın kuru toprak (mg/kg)
Bakır	50	100
Civa	0,5	1
Çinko	150	200
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Kurşun	70	100
Nikel	50	70

Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre arıtılmış atık suyun sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için aşağıdaki parametrelerinin incelenmesi gerekmektedir (Anonim 2010).

- Suyun içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik,
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı,
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu,
- Bazı şartlarda Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının toplam konsantrasyonu,
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ-gres gibi yüzen maddelerin miktarı,
- Patojen organizmaların miktarı.

Arıtılmış atık suların arazide kullanılması için suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin yanında bölgenin toprak özellikleri, iklim, bitki türü, kullanılan sulama yöntemleri de önem arz etmektedir. Sulamada kullanılacak olan su veya arıtılmış atık suyun kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan kimyasal kalite ölçütleri Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Atık suları tarımsal sulamada kullanabilmek için suyun genel kimyasal özelliklerinin yanında içeriğindeki ağır metal miktarlarının bilinmesi önemlidir. Suda izin verilebilir ağır metal miktarları Çizelge 2.4'de verilmiştir. Ayrıca, atık suların dezenfekte edilmeden tarımsal sulamada kullanılmasına izin verilmemektedir.

Çizelge 2.3. Sulama suyu kalitesini değerlendirme ölçütleri (Anonim 2010)

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

*düzeltilmiş

Çizelge 2.4. Sulama sularında izin verilebilir ağır metal miktarları (Anonim 2010)

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

Sulama yöntemleri arasında arıtılmış atık su kullanımı için en uygun ve güvenli olanı damla sulama yöntemidir (Çizelge 2.5). Damla sulama yönteminin avantajlarının yanında damlatıcıların tıkanması gibi dezavantajı bulunmaktadır. Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalite ölçütleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Arıtılmış atık su kullanımında sulama yöntemlerinin karşılaştırılması (Anonim 2010)

Değerlendirme parametreleri	Karik sulama	Tava sulama	Yağmurlama sulama	Damla sulama
Yaprakların zarar görmesi	Bitki dikildiğinde yaprakta problem olmamaktadır.	Bazı alt yapraklar zarar görebilir.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Yaprak hasarı oluşmaz.
Kökde tuz birikmesi	Bitkiye zarar veren sırta tuz birikmesi olabilmektedir.	Tuzlar düşey hareket eder ve birikmez.	Tuz, alt katmanlara doğru hareket eder ve birikme olmaz.	Tuz hareketi radyaldir ve damlatıcı noktaları arasında tuz sıkışması olabilir.
Sulama sonrası toprak su potansiyeli	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası toprak su potansiyeli düşer.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası yüksek toprak su potansiyeli oluşturur ve tuzluluğun etkisini azaltır.
Verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış suyun uygulanabilirliği	Zayıf-Orta	Zayıf-Orta: İyi sulama ve drenaj	Zayıf: Birçok bitkinin yaprağı zarar görebilir.	Çok iyi: Birçok bitki çok az verim kaybı ile büyüyebilir.

Çizelge 2.6. Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalite ölçütleri (Anonim 2010)

Parametre	Birim	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok	Az – orta	Tehlikeli
AKM	mg/l	< 50	50-100	> 100
pH		< 7	7-8	> 8
TDS	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
Mangan	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Demir	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
H ₂ S	mg/l	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Bakteri sayısı	sayı/l	< 10000	10000-50000	> 50000

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

Topraklarda izin verilebilir sınır değerler ülkelere göre değişiklik göstermektedir. FAO (1985) ve Pescod (1992) tarafından belirlenmiş olan sınır değerler dikkate alınarak ülkemizde de 2010 yılında yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde Çizelge 2.3, 2.4 ve 2.6 hazırlanmış olup uluslararası sınır değerler dikkate alınmaya başlanmıştır.

2.4. Atık Suyun Tarımda Kullanımının Etkileri ile İlgili Çalışmalar

Tsadilas and Vakalis (2003), Yunanistan'ın Larissa şehrinde, mısır ve pamuk üretiminden elde edilen gelir miktarını araştırmıştır. Çalışma da beş farklı uygulama seçilmiştir (Temiz su ile sulama-kontrol; Atık su ile sulama; Temiz su ile sulama ve tam gübre uygulaması; Atık su ile sulama ve azaltılmış gübre uygulaması ve Atık su ile sulama ve tam gübre uygulaması). Çalışma sonunda en yüksek tarımsal gelirin atık su ve tam gübre uygulamasından elde edildiği, arıtılmış atık su ve gübre uygulamasının temiz su ve gübre uygulamasına göre % 14 oranında bir artış sağlandığını bildirmişlerdir.

Al-Lahham *et al.* (2003), Ürdün'de arıtılmış atık su ve temiz suyun farklı miktarlarda domates (*Lycopersicon esculentum* L. Mill) bitkisine uygulanmasının meyve kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneme için dört farklı arıtılmış atık su- temiz su karışımları (1: 0, 1: 1, 1: 3 ve 0: 1) ile sulama yapılmıştır. Arıtılmış atık su ile sulama meyve pH'ını etkilememiş meyve boyutlarını ve ağırlığını arttırmıştır. Ayrıca suda çözünebilir kuru madde içeriğinde % 1,5 toplam domates veriminde de % 5,1 oranında azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Mohammad and Mazahreh (2003), arıtılmış atık su (WW) ile sulama işleminin toprak kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yazın mısır (*Zea mays*) bitkisi, kışın ise fiğ (*vicia sativa*) bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışma sonucunda, WW sulamasının toprak pH'sını düşürdüğünü ve topraktaki tuzluluğu, organik madde, toprak P, K, Fe ve Mn içeriklerinin artırdığını, Zn ve Cu içeriğinde ise önemli değişikliğin olmadığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, ikincil arıtma yapılmış atık suların toprak verimliliği

parametrelerini iyileştirebileceğini ancak uygulamalarda tuz içeriğine dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Abedi-Koupai *et al.* (2006), İran’da arıtılmış atık suyun toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla pancar, mısır ve ayçiçeği yetiştiriciliğinde iki su kaynağı (yeraltı suyu ve arıtılmış atık su) ve iki sulama yöntemi (yağmurlama ve karık sulama) kullanmışlardır. Çalışma sonunda topraktaki Pb, Mn, Fe, Cd, Ni, Co, Cu ve Zn konsantrasyonunu belirlemek için (0-20, 20-40, 40-80, ve 80-120 cm) 120 cm derinliğe kadar örnek almışlardır. Sonuçta, sulama yöntemlerinin toprakta ekstrakte edilebilir ağır metaller üzerinde önemli bir etkisi olmadığını fakat infiltrasyon hızı ve toplam porozite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve yağmurlama sulama yönteminde infiltrasyon hızının önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca topraktaki Pb, Mn, Ni ve Co birikiminin arıtılmış atık su uygulamalarında önemli ölçüde arttığını Pb, Mn, Ni, Co, Cu ve Zn birikimininde toprak derinliği ile azaldığını bildirmişlerdir.

Selim (2006)’ in arıtılmış atık suyun yönetimi üzerine yürüttüğü üç yıllık çalışmasında (2000- 2003) ikincil arıtılmış atık su ile kanal suyu konularına göre daha fazla ürün verimi elde edilmiş, ayçiçeği tohumluk verimi arıtılmış atık suda % 14,8 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca susamda, arıtılmış atık su konularında bitki yüksekliği, dal sayısı ve kuru madde birikiminin arttığını ve bunun arıtılmış atık sudaki besin maddelerinin daha fazla var olması ile bağlantılı olduğunu bildirmiştir.

Asgari *et al.* (2007), arıtılmış atık suların mısır bitkisinin sulanmasında kullanılmasının verim parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada beş su uygulaması (T1: içilebilir su ile karık sulama, T2: arıtılmış atık su ile yüzey üstü damla sulama, T3: arıtılmış atık su ile yüzeyaltı (15 cm) damla sulama, T4: arıtılmış atık su ile yüzeyaltı (30 cm) damla sulama, T5: arıtılmış atık su ile karık sulama) denenmiştir. Çalışma sonunda, T4 uygulamasında, diğer uygulamalara göre daha yüksek büyüme parametrelerine ulaşıldığı, bunun da su kaynağının direkt olarak kök bölgesine iletilmesi ile sağlandığını belirtmişlerdir.

Heidarpour *et al.* (2007), İran’da, iki sulama yöntemi (yüzeyaltı damla sulama ve yüzey sulama) ile atık su uygulamasının toprağın kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 0–15 cm, 15-30 cm ve 30-60 cm toprak katmanlarından alınan örneklerde tuz içeriği (EC), Na, Ca, Mg, TN, P ve K miktarlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda, toprağın ilk 0–15 cm tabakasında toprak EC, Na ve Mg içeriklerinin yüzey sulama yönteminde yüzey altı damla sulama yöntemine göre önemli ölçüde yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca atık su ile sulanan 0-15 cm ve 15-30 cm toprak katmanlarındaki K miktarını, yeraltı suları ile sulananlardan önemli ölçüde daha fazla, atık su ile sulanan alanlardaki 15-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarının EC, Ca ve Mg içeriklerini de yeraltı suyuna göre daha düşük bulmuşlardır. Sonuç olarak, atık su uygulaması K’yı önemli derecede etkilediğini, P ve TN miktarını ise etkilemediğini bildirmişlerdir.

Kiziloglu *et al.* (2007), farklı arıtma işlemlerinden geçirilmiş atık suyun uygulaması ile toprak profilinde makro ve mikro besin dağılımı ve lahananın (*Brassica oleracea* var. *Capitate* cv. Yalova-1) besin içerikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, atık su uygulamasının toprak tuzluluğu, organik madde, değiştirilebilir Na, K, Ca, Mg, bitkide kullanılabilir P ve mikro element içeriklerini artırdığını, toprağın pH’ını azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, atık su uygulamasının lahana bitkilerinin verimini ve N, P, K, Fe, Mn, Zn, Cu, B ve Mo içeriğini de artırdığını belirtmişlerdir.

Rusan *et al.* (2007), yaptıkları çalışmada 2, 5 ve 10 yıl atık su ile sulanan ve sulanmayan alanların toprak ve arpa bitkisi özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, uzun süreli atık su uygulamalarının topraktaki tuzları, organik maddeyi ve bitki besin maddelerini artırdığını, Cu, Pb, Cd miktarında değişiklik yaratmadığını ve Zn, Fe, Mn içerikleri ile toprak pH’sını da sürekli etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, atık su uygulaması ile arpa biyokütlesinde artış sağlandığını uzun süreli atık su uygulamasında (10 yıl) biyokütle veriminde düşüşler olduğunu ama yinede verimin kontrol uygulamasına göre yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Atık su ile sulanan bitkilerde temel besin içeriklerinin (Toplam-N, NO₃, P ve K) yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı şekilde iki yıl atık su ile sulanan alanlarda bitkideki Cu, Zn, Fe, Mn içerikleri yüksek iken atık su

kullanım yılı (5-10 yıl) artınca Cu, Zn, Fe, Mn içeriklerinde azaldığını, Pb ve Cd içeriklerinin ise sürekli olarak arttığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak, atık suların güvenli ve uzun vadeli kullanımını sağlamak için uygun şekilde yönetilmesi ve toprak ile bitki kalite parametrelerinin periyodik olarak izlenmesinin gerekli olduğunu bildirmişlerdir.

Amiri *et al.* (2008), İran Tahran'da atık su ve temiz su ile sulanan Sarıtaş yoncası bitkisinde ağır metal (Zn, Pb, Cr, Ni) birikimini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, 0-15 cm toprak katmanındaki ağır metal içeriklerinin atık su uygulamalarında kontrol uygulamalarına göre yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Aynı şekilde bitkilerdeki ağır metal içeriklerinde atık su uygulaması ile arttığını, Pb, Cr ve Ni miktarının sınır değerleri aştığını tespit etmişlerdir.

Kiziloglu *et al.* (2008), arıtılmamış atık su, ön arıtım yapılmış atık su ve birincil arıtım yapılmış atık sularla karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin sulanmasının toprak mineral içeriği ile bitki verimine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, atık su uygulamalarının, toprak tuzluluğu, organik madde, değiştirilebilir Na, K, Ca, Mg, P ve mikro elementleri artırdığı toprak pH' sını ise düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bununla birlikte, atık su uygulamaları karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin verimlerini, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd miktarlarını da artırdığını, en yüksek verim ve makro-mikro besin alımının arıtılmamış atık suda bulunduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak, arıtılmamış atık suyun kısa vadede tarım arazilerinde güvenle kullanılabileceği, uzun vadede ise sürdürülebilir tarımda birincil arıtılmış atık suların kullanılabileceğini önermişlerdir.

Selim (2008) yaptığı çalışmada, ikincil arıtılmış atık suyun mercimek ve darı'nın verimine ve kalitesine etkisini araştırmış, ikincil arıtılmış atık su ve kanal suyu ile iki gübreleme uygulaması (tavsiye edilen kimyasal gübre oranları ve gübresiz) yapmıştır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulanan bitkilerin tohum ve biyolojik verimlerinin, tavsiye edilen kimyasal gübre uygulamasıyla hemen hemen eşit olduğunu, atık suyun bitkinin gereksinim duyduğu kadar N, P ve K sağladığını gözlemlemiştir.

Ahmed and Al-Hajri (2009), arıtılmış atık su kullanımının toprağın kimyasal özellikleri, bitki büyümesi ve ağır metal birikimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmada, bitki olarak sorgum (*Sorghum bicolor* L.) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L), toprak materyali olarak kum ve kil karşımı (1:1) ve sulama suyu olarakta kontrol grubu için temiz su, uygulamalar için de dört farklı arıtılmış atık su- deniz suyu (1:0, 1:1, 3:1, 0:1) kullanmışlardır. Çalışma sonunda, topraktaki Cr, Mn ve Zn içeriklerinin temiz su uygulaması ile diğer uygulamalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini fakat Al, Fe, Ni, Co, Cu, As, Cd ve Pb içeriklerinin ise önemli farklılıklar göstermediğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, ayçiçeği yetiştirilen topraklarda B, Co, Cu içeriklerinin daha yüksek bulunduğu, sorgumda ise Mn ve Zn içeriklerinin yüksek bulunduğunu gözlemlemişlerdir.

Hassanli *et al.* (2009), atık su ve temiz suyun üç farklı sulama yöntemi ile mısır bitkisine uygulanmasının verim ve sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada sulama suyu yüzey üstü damla sulama (SD), yüzey altı damla sulama (SSD) ve karık sulama (FI) yöntemleri ile üç tekerrürlü olarak uygulanmıştır. Ayrıca çalışmada SD ve SSD uygulamalarını nem sensörleri ile izlemişlerdir. Çalışma sonunda en fazla su kullanımının karık sulamada olduğunu, maksimum su tasarrufunun da SSD uygulamasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, en yüksek verimlerin SSD ve SD uygulamalarından, en düşük verim ise FI uygulamasından, yine aynı şekilde en yüksek IWUE değerinin SSD, en düşük IWUE değerinin ise FI uygulamasından alındığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak toprak neminin kontrolüne ve izlenmesine dayalı sulamalarda daha yüksek su tasarruflarının sağlandığını belirtmişlerdir.

Khan *et al.* (2009), arıtılmış atık su ve eşdeğer bazal gübrelerin ayçiçeği bitkisi büyüme parametreleri, klorofil ve besin içerikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, ayçiçeği bitkisine arıtılmış atık su, bazal gübreli su ve kontrol için temiz su uygulamışlardır. Çalışma sonunda, bazal gübreli temiz su ve arıtılmış atık su uygulamalarında bitki boyunun, yaprak alanının, kapitulum çapının, bitki başına tohum ve tohum ağırlığının temiz suya göre önemli ölçüde arttığını, yaprakların nem içeriği ve

klorofil içeriklerinin değişmediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, arıtılmış atık su uygulamasında ayçiçeği yapraklarında Na, Ca ve Mg içeriklerinin, köklerde ise Mn miktarının arttığını bildirmişlerdir.

Manas *et al.* (2009), arıtılmış atık suyun marul bitkisinin sulanmasında kullanımının toprak ve bitki üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile üç yıllık çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada topraktaki ve yapraktaki besin maddeleri, ağır metal birikimi ve patojen - indikatör mikroorganizma dinamiğini incelenmiştir. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulamasında toprakta organik madde, N, P, Ca, Al, Fe, Pb ve Zn miktarının yüksek bulunduğunu, bitkilerde indikatör ve patojenik mikroorganizmalar tespit edildiğini, bitkilerde de N, P, Pb ve Al içeriğinin yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak, marul veriminin arıtılmış atık su uygulamasında kontrole göre daha yüksek olduğunu, arıtılmış atık suyun sulama da kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Buna ek olarak, topraklarda olası ağır metal birikimi ve patojenik organizmaların varlığı sebebi ile arıtılmış atık suların dikkatli bir şekilde yönetilmesini ve damla sulama yönteminin kullanımını önermişlerdir.

Galavi *et al.* (2010), İran Zabol Üniversitesi Ziraat Enstitüsü'nde arıtılmış atık suyunun sorgum bitkisinin sulanmasında kullanımının toprağın kimyasal özellikleri ve bitki ağır metal alımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, beş farklı su uygulaması (T1: sezon boyunca temiz su- kontrol, T2: yetiştirme döneminin ilk yarısında arıtılmış atık su, T3: yetiştirme döneminin ikinci yarısında arıtılmış atık su, T4: temiz su ile arıtılmış atık suyu dönüşümlü, T5: sezon boyunca arıtılmış atık su) kullanmışlardır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulamasında N, P, K, Ca, Na, Mg, SAR, EC, organik karbon içeriklerini kontrol uygulamasına göre önemli derecede yüksek bulmuşlardır. Buna ek olarak, topraktaki Zn, Fe, Mo ve sorgum bitkisindeki Cu, Fe içerik artışlarının, kontrol uygulamasına göre yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, toprak ve bitkideki tüm elementlerin konsantrasyonunun toksisite eşiğini aşmamış olduğunu bildirmişlerdir.

Kafadar ve Saygıdeğer (2010), Gaziantep'te Organize Sanayi atık sularının bazı bitkilerin (domates, biber, patlıcan ve mısır) sulanmasında kullanılması ile bitkilerde ağır metal (özellikle kurşun) birikimini araştırmışlardır. Çalışmada, atık suların sulamada kullanıldığı Gaziantep- Karahöyük ve Salkım köyü yakınlarından bitkilerden (kök, gövde ve yapraktan) ve topraklardan, Bostancık köyü civarından temiz su ile sulanan bitkilerden ve topraklardan örnekler alınarak analiz yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, atık sularla sulanan bitki ve topraklarda kurşun birikiminin görüldüğünü ve bu atık suların kullanımı ile ağırmetal birikiminin kontrol altına alınmаса ilerleyen yıllarda tehlike oluşturacağını bildirmişlerdir.

Al-Khamisi *et al.* (2011), Basra Körfezi'nde iki kış mevsimi boyunca su kalitesinin (arıtılmış atık su ve temiz su) ve su miktarının (0,6 ETo, 1,0 ETo ve 1,4 ETo) yemlik mısırın büyüme, verim ve su kullanım etkinliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su ile sulanan bitkilerin, temiz su uygulamalarına göre bitki boyu, klorofil içeriği ve silajlık ot veriminin yüksek olduğunu bununla birlikte yaprak uzunluğu ve yaprak alanlarında önemli farklılık olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca arıtılmış atık su uygulamasında, daha erken olgunluğa işaret eden bitkilerinin % 50' sinin erkek ve dişi çiçeklenmesinin daha erken sürede gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmada, en yüksek silajlık ot verimi 72,1 t / ha ve 59,4 t / ha olarak sırasıyla 1,4 ETo ve 1,0 ETo arıtılmış atık su uygulamalarında alındığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, arıtılmış atık su uygulamalarının yem bitkilerinin verimini ve su kullanım etkinliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Flores-Magdaleno *et al.* (2011), Meksika'da arıtılmış atık sularla sulanan topraklarda ağır metal içeriklerini incelemişlerdir. Çalışma için alınan su ve toprak örneklerinde pH, elektriksel iletkenlik ve ağır metal (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb ve Zn) içerikleri analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda toprakların ağır metal içeriklerini Pb> Ni> Cd> As> Cr> Hg şeklinde sıralamışlardır. Ayrıca sulamada kullanılan suyun As, Cd, Hg, Ni, Cr ve Zn konsantrasyonlarının kullanım için herhangi bir sorun oluşturmadığı sadece Pb içeriğinin maksimum limitleri aştığını belirtmişlerdir.

Mojiri and Hamidi (2011), İran İsfahan’ da belediye atık sularının damla sulama ve salma sulama ile uygulamasının toprak ve buğdayda (*Triticum aestivum* L.) ağır metal birikimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, 0-20 cm toprak katmanından alınan örnekler analiz edilmiş ve toprak reaksiyonu, elektriksel iletkenlik, organik madde, ekstrakt edilebilir Fe, Mn, Ni ve Cd içeriklerinin her iki yöntemde de artış gösterdiğini, fakat salma sulamada daha yüksek birikimin gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Sacks and Bernstein (2011), ikincil arıtılmış kentsel atık suları ile temiz suyu yüzey üstü damla sulama ve yüzey altı damla sulama yöntemleri ile tarımsal alana uygulanmasının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada yüzey üstü damla sulama, yüzey altı 20 cm ve 40 cm derinlikte damla sulama olmak üzere üç uygulama yapmışlardır. Çalışmada arıtılmış atık suların EC, pH, Na ve Cl, N, P, K, mikro element içerikleri temiz suya göre yüksek bulunmuştur. Arıtılmış atık su uygulamasında toprağın Na miktarı ve SAR değeri yüksek olmasına karşın uygulamalar arasında ürün verim ve kalitesinde farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte, yüzeyüstü damla sulama uygulanmış yüzeyin 0–2 cm toprak örneklerinde *E. coli* ve fekal koliform kirliliği bulunurken, yüzey altı damla sulama uygulamalarında herhangi bir kirlenmenin bulunmadığını bildirmişlerdir.

Banon *et al.* (2011), süs bitkisi üretimi için arıtılmış atık suyun alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesi amacıyla yürütülen çalışmada, poligala çiçeğinin arıtılmış atık su ile sulanabileceği fakat kullanılan suyun klor, sodyum ve bor içermesi nedeniyle bitkide yaprak dökümü, yaprak yanması ve yaprak kloruzu gibi etkilerinin gerçekleştiği belirlemişlerdir. Aynı zamanda arıtılmış atık suyun seyreltilerek kullanımında bu etkilerin azaldığını ama kalitenin yine de düştüğünü belirtmişlerdir.

Adrover *et al.* (2012), ikincil arıtılmış atık su ile 20 yıldan fazla sulanan 21 arazinin kimyasal özelliklerini (katyon değişim kapasitesi, pH, kalsiyum karbonat eşdeğeri, organik maddesi, toplam azot, mevcut fosfor, suda çözünabilir organik karbon) ve biyolojik aktivitelerini belirlemek için çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma sonunda suda çözünen organik karbon, toprak mikrobiyal biyokütle ve b-glukozidaz ve alkali fosfataz aktiviteleri artmış ama bu artışın toprak parametrelerine olumsuz etkisi gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, arıtılmış atık su ile sulama işleminin tarımsal arazi yönetimine birçok fayda sağlayan bir strateji olduğunu belirtmişlerdir.

Alikhasi *et al.* (2012), arıtılmış atık suyun pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) bitkisinin verim ve lif kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneme arıtılmış atık su ve temiz suyu (kontrol) yüzey sulama yöntemi ile uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre arıtılmış belediye atık suları ile sulanan parseller için temiz su ile sulananlara kıyasla, verim metrekare başına koza sayısı, yaprak alanı endeksi ve bitki boyu üzerinde belirgin bir artış sağladığı, verimlerin arıtılmış atık suda 2 200 kg /ha, temiz suda ise 780 kg/ha olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca lif kalitesinde ise herhangi bir zararlı etki gözlemlenmediğini belirtmişlerdir.

Cirelli *et al.* (2012), Doğu Sicilya'da (İtalya) patlıcan ve domates bitkilerinin arıtılmış atık su kullanılarak (TWW) yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama yöntemi ile sulanmasının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda TWW uygulamasıyla yüzey üstü damla sulama yönteminde patlıcanda 38.5 t/ha, yüzey altı damla sulama yönteminde de domateste 89.7 t/ha ürün elde edilmiş, temiz su uygulamalarına göre yaklaşık %20 verim artışı sağlandığı ifade edilmiştir. Ayrıca yüzey altı damla sulama yönteminin domateste pazarlanabilir verimi, meyve sayısının önemli ölçüde artmasına, pazarlanabilir olmayan meyve sayısının ise azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, arıtılmış atık suların kontrollü koşullar altında, su sıkıntısı çeken ülkelerde tarımsal sulamada alternatif olarak kullanılabilecek su kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.

Zema *et al.* (2012), arıtılmış atık su ile sulanan *Typha latifolia*, *Arundo donax* ve *Phragmites australis* bitkilerinin biyokütle ve enerji verimlerini araştırmışlardır. Ayrıca arıtılmış atık su ile sulanan toprakların temel fiziksel ve kimyasal özelliklerini (pH, EC, organik karbon, N, P) belirlemişlerdir. Çalışma sonunda arıtılmış atık su uygulamasının biyokütle verimini artırdığını tespit etmişlerdir. Arıtılmış atık su ile yapılan sulamanın toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere yol açmadığını gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, arıtılmış atık su ile sulanan otsu bitkilerin kayda değer biyokütle ve enerji verimi sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Cicek *et al.* (2013), evsel atık sularla sulanan buğdayın verim ve besin içerikleri ile toprakta makro-mikro besin elementlerine etkisini araştırmışlardır. Sera şartlarında beş farklı atık su uygulaması (%100, %75, %50, %25 ve % 0) ve beş tekrarlı olarak yürütülen çalışmada bitkiler 90 gün sonra hasat edilmiştir. Çalışma sonunda, atık su uygulaması ile toprakta tuzluluk, organik madde, değiştirilebilir Na, K, Ca, Mg içerikleri artarken, pH' da azalmalar görülmüştür. Bununla birlikte bitkide de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd içerikleri ve verim artmıştır. Ayrıca, atık su uygulaması ile toprak ve bitkide ağır metal kirlenmesi ve tuzluluk gibi istenmeyen yan etkileri gözlemlenmediğini bildirmişlerdir. Çalışma sonunda atık su uygulamasının arazide kısa vadede hem gübre kaynağı hem de ekonomik açıdan gübre kullanım verimliliğinin artırılması için güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

El-Nahhal *et al.* (2013), Gazze Şeridi'nde (Filistin) Çin lahanası ve mısırın büyümesi ve toprak özellikleri üzerindeki arıtılmış atık su sulamasının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kontrol grubu için temiz su kullanılmış olup, toprak örnekleri 0 - 120 cm derinlikten alınarak pH, elektrik iletkenliği ve besin içerikleri ve verimleri incelenmiştir. Çalışma sonunda, atık su uygulaması olan parsellerde Çin lahanası ve mısırın biyokütlesinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte atık su ve temiz su uygulamalarında bitki yaprak ağır metal içerikleri EPA sınır değerlerinin altında kalmış olup, farklılık göstermemiştir. Sonuç olarak, atık suyun bitki besinleri için etkili bir kaynak olduğunu ve gerekli arıtmalardan sonra tarımda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kudal ve Müftüoğlu (2014), Denizli ili Aköy ilçesinde arıtılmış atık sularla sulanan ve sulanmayan tarım arazilerindeki topraklarda bazı verimlilik (toprak pH'sı, suda eriyebilir tuz, toplam azot, organik karbon, karbonat, toprak bünyesi, alınabilir fosfor ve potasyum) özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulanan alanlarda toprak pH'sı azalmış, toprağın eriyebilir tuz içeriği ve karbonat miktarları ise artmıştır. Ayrıca toprak organik karbonunun arttığı fakat toplam azot miktarının azaldığını, organik karbonun artması ile C/N oranının da arttığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak arıtılmış atık suların tarımsal sulama için kullanılmadan önce içerik olarak analiz edilmesi gerektiğini

aksi takdirde toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısına zarar verebileceğini belirtmişlerdir.

Akın (2015), yaptığı çalışmada dört farklı kaynaktan (Nilüfer çayı, Ayvalı deresi, Buski arıtma tesisi ve Penguen arıtma tesisi) alınan suların bitki gelişimi ve toprak özelliklerine etkisini araştırmıştır. Sera koşullarında yürütülen çalışmada bitki materyali olarak mısır kullanılmış olup, bitkinin besin elementleri ve ağır metallerini, toprağın pH, EC, besin elementleri ve ağır metal içeriklerini belirlemiştir. Çalışma sonunda, toprağın NH_4 ve NO_3 azotu, alınabilir P, değişebilir Na ve K içeriklerinin kontrole göre arttığını, Mn haricindeki elementlerin ise bütün uygulamalarda önemli bir farklılık göstermediğini bildirmiştir. Sonuç olarak, çalışmada kullanılan su kaynaklarının sulamada kullanımında topraklarda tuzluluk ve ağır metal birikiminin göz önüne alınmasını tasviye etmiştir.

Tunc and Sahin (2015), yaptıkları çalışmada kentsel atık suların birincil (filtrasyon) ve ikincil (filtrasyon ve havalandırma) arıtım sonrasında damla sulama yöntemi ile kırmızı lahana bitkisine uygulanmasının bitki büyüme, verim, ağır metal içeriği ve su kullanım etkinliği ve toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, filtrelenmiş atık su (WW1), filtrelenmiş ve havalandırılmış atık su (WW2), temiz su ve filtrelenmiş atık su karışımı (1:1) (WW3) ve temiz su (FW) kullanılmıştır. Çalışma sonunda, atık su uygulamasında bitki su tüketimi azalırken, su kullanım etkinliği artış göstermiştir. En yüksek su kullanım etkinliği WW1 uygulamasında $8,41 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuş olup temiz su uygulamasına göre iki kat artmıştır. Ayrıca atık su uygulaması toprak verimliliğini ve kırmızı lahana verimliliğini de artırmıştır. Sonuç olarak, WW3 uygulamasının, toprak ve ürünlerde daha az ağır metal kirliliği yarattığı, temiz suya göre daha yüksek verim sağladığı için tarımsal sulamada kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Al-Khamisi *et al.* (2016), Umman Tarım Araştırmaları Merkezi'nde buğday, börülce ve mısır yetiştiriciliğinde arıtılmış atık su kullanımının toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Denemede üç farklı su kaynağı (yeraltı suyu, tuzdan arındırılmış su ve arıtılmış atık su) kullanılmıştır. Çalışma sonunda organik karbon,

arıtılmış atık su ile sulanan toprakta zamanla artmıştır. Toprağın hidrolik iletkenliği, su uygulamaları ve toprak derinliklerine göre önemli bir farklılık göstermemiştir. Yine aynı şekilde topraktaki P ve K, sulama uygulamalarının herhangi birinden etkilenmemiş olup en yüksek P ve K konsantrasyonlarının üst toprak tabakalarında olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak, üç ürününde yetiştirilmesinden sonra arıtılmış atık su ile sulamanın herhangi bir olumsuz etkisinin bulunmadığını bildirmişlerdir.

Almuktar and Scholdz (2016), arıtılmış evsel atık suların sulamada kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Arıtılmış atık su uygulamasında topraklarda mineral kirliliği gözlemlenmediğini, bazı sebzelerde hafif-orta derecede Zn kirlenmesinin olduğunu bildirmişlerdir.

Chunfang *et al.* (2016), arıtılmış atık su uygulamasının toprak besin maddeleri ve enzimler üzerindeki etkilerini araştırmak için sera koşullarında domates yetiştirmişlerdir. Bu amaçla toprakta TN, NO₃, P, K ve temiz su ile sulanan topraklarda üreaz, asit fosfataz ve katalaz enzim aktiviteleri gibi bazı parametreleri belirlemişlerdir. Çalışmada arıtılmış atık su uygulamasında katalaz aktivitesi, toprak üreaz, nitrat-nitrojen, toplam N ve toplam P içeriği artmıştır. Sonuç olarak arıtılmış atık suların sulamada kullanımının tarım arazisi yönetimi için güvenli ve etkili bir strateji olduğunu ortaya koymuşlardır.

Roy and Gupta (2016), Hindistan'da atık su ile sulanan toprak ve sebzelerde ağır metallerin biriktiğini belirlemiştir. Atık su ve kuyu suyunda Pb, Mn ve Zn içerikleri FAO/WHO standartlarından düşük fakat Cr, Cu ve Cd içerikleri yüksek çıkmıştır. Kuyu suyu ve atık sudaki ortalama metal konsantrasyonları sırasıyla Pb> Zn> Mn> Cr> Cd> Cu ve Pb> Mn> Zn> Cr> Cd> Cu şeklinde olmuştur. Ayrıca topraktaki kirlilik yük indeksinde Cu (2,40)> Cr (2,19)> Cd (2,00)> Mn (1,77)> Pb (1,25)> Zn (0,97) şeklinde olduğunu bildirmişlerdir.

Al-Khamisi *et al.* (2017), yeraltı suyu ve arıtılmış atık su uygulamasının rotasyonla yetiştirilen buğday, börülce ve mısırın verim ve kimyasal bileşenlerine etkisini

araştırmışlardır. Çalışmada arıtılmış atık su uygulamasının, buğday bitkisinin boyunu, klorofil içeriğini, yaprak alanını, yaprak uzunluğunu, tane verimini ve bitkilerde azot içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte arıtılmış atık su uygulamalarında buğday, börülce ve mısırdaki incelenen tüm element içerikleri sınır değerlerin altında bulunmuş olup arıtılmış atık su kullanımının verim ve su tasarrufu üzerine olumlu etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir.

Biswas *et al.* (2017), farklı su kalitelerinin (yeraltı suyu-kontrol, seyreltilmiş atık su, seyreltilmemiş atık su) toprak özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Atık suyun uygulanması, yüzey toprağının kütle yoğunluğunu %1,92 azaltmış, gözenekliliğini ise %5,89 oranında arttırmıştır. Toprağın hidrolik iletkenliği, pH'sı, elektrik iletkenliği ve su tutma kapasitesi atık su uygulamasında artmıştır. Bununla birlikte değişebilir katyonlarda (Na, K, Ca, Mg) atık su uygulaması ile önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca en büyük etki toprağın 0-20 cm katmanında görülmüş olup derinlere inildikçe, atık su uygulamasının etkisi görülmemiştir. Çalışma sonucunda çiftçilere, temiz su üzerindeki baskıyı hafifletmek ve toprak verimliliğini artırmak için belediye atık suları ile sulama yapılmasının tasviye edilebileceğini bildirmişlerdir.

Demir and Sahin (2017), yaptıkları çalışmada arıtılmış atık su ve temiz su kullanılarak tam, kısıtlı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu uygulamalarının domates verimi, meyve kalitesi, toprak ve meyvede ağır metal konsantrasyonları ve su kullanımına etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulamalarında su tüketimi azalmasına rağmen ürünün pazarlanabilir veriminin arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte arıtılmış atık su ile titrasyon asitliği, C vitamini ve meyve mineral içeriğinin arttığını, topraklarda ağır metal birikiminin sınır değerler içerisinde kaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, meyvelerdeki Cd ve Pb içeriklerinin FAO / WHO tarafından verilen standart limitleri aştığını ve arıtılmış atık su uygulamasının uzun vadede sağlık risklerine neden olabileceğini açıklamışlardır.

Urbano *et al.* (2017), sera koşullarında temiz su (T1) ve arıtılmış atık su (T2) ile sulanan marulun yapraklarının mikrobiyolojik kalitesini ve hasat sonrası toprağın fiziksel,

kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, toprakta K, Ca, H, Al ve S konsantrasyonunun T2 uygulamasında yüksek olduğunu, *E. coli* bakterisinin varlığının marul yapraklarında veya toprakta gözlenmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca arıtılmış atık su uygulamasının toprağın fiziksel özelliklerinde değişiklik yaratmadığını, toprağın besin maddelerini ve marulun taze ağırlığını artırdığını belirtmişlerdir.

Biswas *et al.* (2018), yaptıkları çalışmada temiz su, farklı şekilde seyreltilmiş atık su ve seyreltilmemiş atık su ile sulanan patates tarlalarının topraklarındaki fizikokimyasal değişiklikleri değerlendirmişlerdir. Atık suyun uygulanması, yüzey toprağının kütle yoğunluğunu % 2,83 azaltmış ve gözenekliliği % 6,02 oranında arttırmıştır. Toprağın doymamış hidrolik iletkenliği ve su tutma kapasitesi ve toprak pH'sı atık su uygulaması ile iyileşmiştir. Toprak elektriksel iletkenliği hem atık su hem de gübre uygulaması ile 0–15 cm toprak tabakasında önemli ölçüde değişmiştir. Ancak, daha derin katmanlarda herhangi bir farklılık gözlemlenmemiştir. Toprakların organik C, toplam N, mevcut P ve S'si, atık su ile sulanmada önemli ölçüde artmıştır. Organik C, üst toprak tabakasında atık su uygulamasında % 23,80 artmıştır. Toprağın N içeriği organik C içerikleriyle benzerlikler göstermiştir. Değişebilir Na, K, Ca, Mg ile Zn ve B içeriğinde atık su uygulaması ile önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenle, kentsel atık su ile sulamanın, toprak verimliliğini artırmanın yanı sıra, su kıtlığı alanındaki temiz su üzerindeki baskıyı hafiflettiği için atık suyun sulama suyu olarak kullanımını önermişlerdir.

Shilpi *et al.* (2018), farklı endüstrilerden (şaraphane, mezbaha, süt ve belediye) gelen atık suların tarımsal bitkileri sulamak için güvenli bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek amacıyla, musluk suyunda seyreltilen atık suların farklı konsantrasyonlarını (0, 0,5, 5, 25, 50, 75 ve 100 %) ayçiçeği ve mısır ekilen topraklara uygulanmış, şaraphane atık suyunun herhangi bir seyreltme olmaksızın uygulandığında mısır ve ayçiçeğinin büyümesini azalttığını, ancak musluk suyu ile % 25 seyreltmeyle uygulandığında her iki bitkinin verimini artırdığını, mezbaha atık suyun % 100 konsantrasyonunda da en yüksek veriminin alındığını bildirmişlerdir. Ayrıca belediye atık suları, her iki bitki üzerinde hiçbir engelleyici etki göstermemiştir. Her iki bitkideki metal içeriğinin farklı atık suların

uygulanmasından dolayı farklı olduğu, ancak herhangi bir toksik seviyeyi aşmadığı, tarımsal alanlarda atık suların uygun seyreltmelerle mahsul verimliliğini arttırmak için sulama suyu amacı ile kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Zhang *et al.* (2018) Kuzey Çin'deki iki ayrı sulama suyunun (temiz su ve arıtılmış atık su) tarımsal topraklarda ve mısırdaki (*Zea mays* L.), ağır metal (As, Cd, Cu, Cr, Pb ve Zn) konsantrasyonunu incelenmişlerdir. Araştırma sonucunda arıtılmış atık su ile yaklaşık 30 yıldır sulanan topraklardaki ağır metal konsantrasyonunun, temiz su ile sulanana kıyasla küçük farklılıklar gösterdiğini ve arıtılmış atık su kullanımının tarım topraklarında As ve Cu'nun daha yüksek konsantrasyonlarına yol açtığını bildirmişlerdir.

Yapılmış olan bu çalışmalardan atık suların tarımsal amaçlı kullanımı ile temiz suya alternatif su kaynağı olmasının yanında, atık suların çevreye, su kaynaklarına olan zararının en az indirildiği, atık suların kullanımı ile üretim alanlarının önemli derecede gübre ihtiyacını karşıladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca atık suların kullanımı ile verim artışlarının olduğu, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de olumlu değişimlerin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak kullanım kısıtlarının da göz ardı edilmemesi önemli görülmüştür.

2.5. Yüzey Üstü ve Yüzey Altı Damla Sulama Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Kırnak vd (2002b), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemleri ile farklı düzeylerde su uygulamasının biber bitkisinde verim ve kaliteye etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, yüzey altı ve yüzey üstü damla sulamada sırasıyla 55,2 ton /ha, 50,8 ton/ ha verim elde etmişlerdir. Sonuç olarak, denemenin yürütüldüğü Harran ovasında, yüzey altı damla sulama yönteminin yüzey üstü damla sulama yöntemine göre daha elverişli olduğunu bildirmişlerdir.

Gençoğlu *et al.* (2006), yaptıkları çalışmada damla sulama ile yüzey altı damla sulama yöntemi kullanımının yeşil fasulye verimi, sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE), su

kullanım etkinliği (WUE), bitki kuru ağırlığı ve bitki su ilişkisi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, yeşil fasulye verimi ve kuru bitki ağırlıkları arasındaki farklar yöntemler arasında önemli ölçüde etkilenmezken, yüzey altı damla sulama yönteminde % 16 su tasarrufu sağlandığını ve IWUE, WUE değerlerinde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Dogan *et al.* (2008), yaptıkları çalışmada yüzey altı damla sulama ve yüzey üstü damla sulama yöntemleri kullanılarak sulanan kavun bitkisinde optimum sulama suyu miktarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışmada, sulama suyu miktarları A sınıf buharlaşma kabı hesabına göre altı (buharlaşma miktarının; % 0, % 25, % 50, % 75, % 100 ve % 125) uygulama ile iki yıl boyunca yürütülmüştür. Çalışma sonunda, sulama yöntemleri arasında önemli bir farklılık olmadığını fakat yüzey altı sulama yöntemi ile yaklaşık % 10 su tasarrufu sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Amiri *et al.* (2009), farklı sulama yöntemlerinin (karık, yüzey üstü damla sulama, yüzey altı damla sulama) ve su kalitesinin (arıtılmış atık su ve temiz su) mısır unu kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, su emme kapasitesi, şişme indeksi, çözünürlük ve jelatinleşme sıcaklığı parametrelerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, arıtılmış atık su uygulamasında temiz su uygulamasına göre daha yüksek protein içeriğinin bulunduğunu, sulama suyunun artışı ile arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, arıtılmış atık su kullanılarak yapılan yüzey altı damla sulama yönteminin iyi bir alternatif sulama yöntemi olduğunu, su kullanım etkinliğini, bitki verimini ve mısır unu kalitesini artırdığını bildirmişlerdir.

Vories *et al.* (2009), yüzey altı (yaklaşık 30 cm derinliğe yerleştirilmiş) damla sulama yönteminin mısır bitkisinin sulanmasındaki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada üç farklı su seviyesini (günlük su gereksiniminin % 100, % 60 ve % 0 sulanmayan) karşılaştırmış, sonuçta, yüzey altı damla sulama yönteminde su kullanım etkinliğinin yüksek olduğunu, tahmini günlük ET' nin % 60' ının yüzey altı damla sulama ile uygulanmasının maksimum mısır verimi için yeterli olduğunu gözlemlenmiştir.

Ghamarnia and Sepehri (2010), İran'da farklı sulama uygulamalarının su kullanım etkinliği ve aspir'in (*Carthamus tinctorius* L.) verim ve verim parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, yüzey üstü damla sulama (SDI- % 33, % 66 ve % 100 ET), yüzey altı damla sulama (SSDI) ve karık sulama (FI) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda, farklı sulama uygulamalarının su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerinin önemli olduğu, su kullanım etkinliğine bağlı olarak en yüksek tane verimi ve yağ veriminin sırasıyla 5,20 ve 2,42 kg/ ha/ mm ile SSDI uygulamasında, en düşük tane verimi ve yağ veriminin ise 1,58 ve 0,69 kg/ ha/ mm ile FI uygulamasında bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca su kaynaklarında sıkıntı olduğu durumlarda SDI (% 66 ET) uygulamasının kabul edilebilir olduğunu bildirmişlerdir.

Bozkurt and Bozkurt (2011), farklı damla sulama yöntemlerinin ve farklı sulama seviyelerinin marulda (*Lactuca sativa* var. *longifolia* cv. Lital) verim, kalite ve su kullanım özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, pazarlanabilir baş ağırlığı (verim), pazarlanabilir yaprak sayısı, yaprak alanı, bitki boyu ve çapları, bitki kuru ağırlığı, çekirdek çapları ve kafa sertliği, yaprak klorofil içeriği, toplam çözünebilir katılar ($^{\circ}$ Brix), elektriksel iletkenlik (EC), pH ve toplam çözünmüş katı madde belirlenmiştir. Çalışma sonunda, çekirdek ve bitki çapları dışındaki verim ve verim unsurlarının sulama yöntemlerinden etkilenmediğini fakat en yüksek verimin yüzey altı damla sulama yönteminden elde edildiğini, su kullanımının azalması ile su kullanım etkinliği ve sulama suyu kullanım etkinliğinin arttığını tespit etmişlerdir.

Kahlaoui *et al.* (2011), yüzey üstü damla sulama (SDI) ve yüzey altı damla sulama (SSDI) yöntemleri ile domates bitkilerinin verimi ve meyve kalitesini araştırmışlardır. Sulamaları üç farklı su rejimine (% 100, % 85 ve % 70) göre yapmışlardır. SDI (%70) uygulamasında toprak tuzluluğunun arttığı, çiçek sayısı, meyve sayısı, meyve boyu ve verimde de azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SDI yöntemi ve sulama rejimlerinde titrasyon asitliği, toplam çözünebilir katı madde içeriği ve meyve pH' sınında azaldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, SSDI uygulamalarında Rio Grande domates çeşidinin veriminin yüksek olduğunu ve bölge için SSDI yönteminin önerilebileceğini bildirmişlerdir.

Tripathi *et al.* (2016), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemi ile atık suyun karnabahar bitkisinin sulamasındaki etkisini araştırmışlardır. En yüksek yaprak alan indeksi 15 cm derinliğe yerleştirilen en yüksek kök uzunluğu ise 30 cm derinliğe yerleştirilen damla sulama yönteminden elde edilmiştir. Atık su uygulaması ile azotta % 28,3, fosforda % 21,1 ve potasyumda % 38,3 artış sağlanmıştır. Ar, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonu atık su uygulamalarında yüksek tespit edilmiş olup, bulunan tüm ağır metallerin konsantrasyonu, Gıda ve Tarım Örgütü / Dünya Sağlık Örgütü ve Hindistan standartlarını aşmadığını bildirmişlerdir. Çalışma sonunda, yüzey altı damla sulama yöntemi ile belediye atık suyunun kullanılmasının çevre kirliliğini engellendiğini, atık su kullanımının inorganik gübreler ve temiz su tasarrufu sağladığını bildirmişlerdir.

Çolak *et al.* (2018), Akdeniz Bölgesi'nde yüzey altı (SSDI) ve yüzey üstü (SDI) damla sulama yöntemleri sulama rejimlerinin patlıcanda verim ve kaliteye etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, SSDI yönteminde toprak yüzeyinden azalan buharlaşma kayıplarına bağlı olarak yüzey üstü damla sulamaya göre daha az su kullanıldığını bildirmişlerdir. Çalışmada ilk yıl yüzey üstü damla sulama yönteminde daha yüksek verim alınırken ikinci yılda ise yöntemler arası benzer verimler alınmıştır. Ayrıca, su stresine bağlı olarak patlıcan veriminin önemli miktarda düştüğünü bildirmişlerdir.

Yüzey üstü damla sulama ve yüzey altı damla sulama, su ve besin maddelerini bitkilere doğrudan iletmenin en etkili yolları olup, suyun tasarrufunun yanında bitkilerin verimini de arttırmaktadır. Yüzey altı damla sulama, optimum büyüme için potansiyel olarak daha dengeli bir toprak suyu ve besin ortamı sağlayabilir ve ayrıca tuzluluk yönetimi ve tarım ilaçlarının uygulanmasında da etkili olabilir. Yüzey altı damlada iyi bir planlama ve yönetim, kök bölgesini etkin bir şekilde ıslatıp kuru bir toprak yüzeyi sağlayarak buharlaşmadan kaynaklanan su kayıpları ve bunun sonucunda yabancı otların büyümesini azaltmakta ve derin sızma kayıplarını da ortadan kaldırmaktadır. Tüm bunlar, tarımsal sürdürülebilirlik ve toprak ve su koruma için önemli olup, su kullanım verimliliğini artırmaya katkıda bulunabilmektedir (Çolak *et al.* 2017). Yüzey üstü ve yüzey altı damla uygulaması konusunda farklı koşullarda yürütülmüş karşılaştırmalı çalışmalar

bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, daha çok ürün verimi üzerindeki etkileri araştırılmış ve yüzey altı damlanın genellikle daha yüksek ürün verimi sağladığı vurgulanmıştır (Kong *et al.* 2012).

2.6. Silajlık Mısırdaki Verim ve Kaliteyle İlgili Çalışmalar

Mısır (*Zea mays* L.), dünyada en çok üretimi yapılan bitkilerden birisidir. Dünya da 2016 yılı verilerine göre 1 416 632 ha alanda 18 098 707 milyon ton üretim yapılmaktadır (Anonim 2016). Türkiye’de 2017 yılı verilerine göre 473 961 ha alanda 23 152 841 ton silajlık mısır üretimi yapılmaktadır (TÜİK 2017).

Doorenbos and Kassam (1979), mısırın kökeninin Orta Amerika-Andean olduğunu, büyüme dönemi boyunca ortalama sıcaklığın 15 °C’ nin üzerinde olması gerektiğini ve hemen hemen bütün iklim koşullarında yetiştiğini bildirmiştir. Ayrıca yine aynı araştırmacılar, mısır tohumlarının çimlenmesi için hava sıcaklığının 18-20 °C arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Orak ve İptaş (1999), üretimi yapılacak silajlık mısır seçiminde bitkinin yaprak sayısının, yaprak ağırlığının ve oranının bitki besin değerinin yüksek olmasında önemli olduğunu bildirmiştir.

Keskin (2001), üç silajlık mısır çeşidinde yaptığı çalışmada bitki boyunu 233,3-274,8 cm, kuru madde verimini 1152-1437 kg/da, protein oranını % 5,18- 6,25 olarak bulmuştur.

Akdeniz vd (2004), yapmış oldukları çalışmada Van ekolojisine uygun silajlık mısır çeşitlerini araştırmışlardır. On üç adet (Alpos, Bc-566, Bc-678, Bc-723, Bc-778, Bc-6661, Duanan, OSSK-191, OSSK-247, OSSK-332, OSSK-382, OSSK-552, OSSK-6449 silajlık mısır çeşidi kullanmışlardır. Çalışma sonunda yeşil ot verimleri ve kuru ot verimleri arasında önemli farklar olduğunu, yeşil ot veriminin 2850,1- 7608,5 kg/da, kuru ot veriminin ise 745,9-11465,9 kg/da arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak

Van bölgesi için yüksek yeşil ot verimi ve kuru ot verimine sahip olan OSSK-644, Bc-566, Bc-723, Bc-6661 ve Duanan çeşidinin silajlık mısır için uygun çeşitler olduğunu belirtmişlerdir.

Erdal vd (2009), Antalya bölgesinde bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonunda, yeşil ot verimlerini 5074-8070 kg/da, bitki boyu ortalamasını 226-303 cm, kuru madde verimlerini 1877-2922 kg/da ve ham protein oranını % 7,3- 8,2 arasında bulmuşlardır.

Küçük (2009), bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, yeşil ot veriminin 4077,7- 6537,1 kg/da, kuru madde veriminin 1374,7-2152,7 kg/da ve bitki boy ortalamasının 254,0-293,3 cm arasında değiştiğini bildirmiştir.

Güney vd (2010), yaptıkları çalışmada Erzurum koşullarına uygun silajlık mısır çeşidini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, 11 adet silajlık mısır (Akpınar, Arifiye, Borja, Epila, Girona, Karadeniz Yıldızı, Matero, OSSK-596, OSSK-644, SZE TC-513 ve TTM-813) çeşidi kullanmışlardır. Çalışma sonunda yeşil ot verimlerinin 5038-7427 kg/da, bitki boylarının 217-276,3 cm, kuru madde oranının % 25,30 -31,58, ham protein oranının % 7,71-10,63 ve NDF oranının % 45-56,9 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Akbay (2012), Tokat -Kazova ekolojik koşullarında silajlık mısır çeşitlerinde verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürüttüğü çalışmada, bitkinin kuru madde verimlerini 733,8- 1697,70 kg/ da, bitki boyunu 203,6- 256,6 cm, ADF içeriğini % 26,5-45,0, NDF oranını % 49,8-73,0 arasında bulmuştur.

Balmuk (2012), on üç adet silajlık mısır çeşidinin Konya -Yunak ekolojik koşullarında yetiştirilme olanaklarını araştırmıştır. Çalışma sonunda yeşil ot verimlerini 3576,2-5047,6 kg/ da, bitki boylarını 209,7-274,17 cm ve kuru madde verimlerini 1242,7-1725,9 kg/ da olarak belirlemiştir.

Özata vd (2012), Samsun koşullarında silajlık mısırdaki, yeşil ot veriminin 3340-6300 kg/da, bitki boyunun 280-320 cm ve ham protein oranının %5,2-9,0 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Simsek and Tamkoc (2014), Antalya iklim koşullarında 10 çeşit hibrit silajlık mısırdaki yaptıkları çalışmada, yeşil ot veriminin 7773,8-13297,6 kg/ da, kuru madde veriminin 1497,0-2689,9 kg/ da, protein oranının % 2,36-2,76, bitki boyunun 173,4-257,7 cm ve gövde çapının 20,50- 27,21 cm aralığında değiştiğini bildirmişlerdir.

Kabakçı (2014), Iğdır koşullarına uygun silajlık mısır çeşidini belirlemeye yönelik çalışmada 9 çeşit mısır çeşidi kullanılmıştır. Çalışma sonunda yeşil ot verimlerinin 4673,7-8753,7 kg/da, kuru ot verimlerinin 1118,4-2570,2 kg/da, yaprak sayısının 9,8-11,6 adet, ham protein oranlarının da % 4,8-7,0 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Kuşvuran vd (2015), 20 farklı mısır çeşidiyle yaptıkları çalışmada, incelenen özellikler yönünden bütün çeşitler arasında istatistiksel olarak farklılıkların önemli olduğunu ve bitki boylarının 228-260 cm, sap kalınlığının 20,1- 24,5 cm, yeşil ot veriminin 8461-13190 kg/da, kuru madde veriminin 2838-4163 kg/da, protein oranının %4,80-7,02 arasında değiştiğini belirlemiştir.

Günen (2016), Tokat Zile ekolojik koşullarında yetiştirilebilecek silajlık mısır çeşitlerini belirlemek için 10 adet silajlık mısır çeşidinin verim ve verim parametrelerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda, kuru madde verimlerinde çeşitler arası önemli bir farklılık bulunurken, protein oranı bakımından önemli fark bulunmamıştır. Kuru madde verimi 850,4-1534,1 kg/ da, bitki boyları 239,4-299,4 cm, ADF oranı % 31,8-36,9, NDF oranı ise % 48,7- 59,4 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Han (2016), bazı mısır çeşitlerinin verim ve kalitesini belirledikleri çalışmada, yeşil ot veriminin 7270- 8441 kg/da, bitki boyunun 286,7-315,6 cm, ham protein oranının % 6,50-

8,19, ADF oranının % 30,5-35,4 ve NDF oranının %53,8-61,8 arasında değiştiğini bulmuştur.

Ak (2017), bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Uşak -Banaz koşullarında yürüttüğü çalışmada bitki boyunu 243,0-274,0 cm, sap kalınlığını 24,8- 27,8 mm, yeşil ot verimini 9490-13690 kg/ da, kuru madde verimini 1897,3-2585,4 kg/ da ve protein oranını da % 9,3-14,0 arasında bulmuştur.

Şen (2017), İzmir Tire ekolojik koşullarında sekiz silajlık mısır çeşidinin verim ve verim özelliklerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, yeşil ot verimini 6096 -7759 kg/da, kuru ot verimini 1739,2-3809,5 kg/ da, protein oranını % 9,5-10,6, ADF oranını % 23,3-38,5, NDF oranını ise 35,9-49,8 olarak belirlemiştir.

2.7. Silajlık Mısırdaki Su Kısıtıyla İlgili Çalışmalar

Arıtürk (2008), Tekirdağ ekolojik koşullarında iki farklı sulama yönteminin ve üç farklı kısıt oranının (%0, %50 ve %100) silajlık mısırdaki verim ve verim öğeleri ile su-verim ilişkisine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, sulama yöntemleri arasında önemli farklılık belirlenmezken, kısıt uygulamalarında istatistiksel olarak fark önemli olmuştur. Yeşil ot verimi karık sulamada 9896 kg/da, damla sulamada 9291 kg/da olarak bulunmuştur. Sulama suyu kullanım randımanının karık sulamada 20,8-27,0 damla sulamada 19,6-21,9 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Dağdelen vd (2009), dört farklı sulama düzeyi uygulamalarının (% 0, % 30, % 70 ve % 100) iki çeşit silajlık mısırdaki su üretim fonksiyonlarına etkisini belirledikleri çalışmada, mevsimlik bitki su tüketimlerinin 92,3-695,0 mm, yeşil ot verimlerinin ise 1693,8-7028,9 kg/da arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca verim tepki fönktörü 0,75-0,79 olarak belirlenmiş olup, en yüksek verimin tam sulama yapılan uygulamadan elde edildiğini bildirmişlerdir.

Kiziloglu *et al.* (2009), yarı kurak bölgede kısıtlı sulamanın mısır bitkisinin bazı fiziksel özellikleri, verim ve su kullanım etkinliği üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, beş farklı su kısıtı (% 80, 60, 40, 20 ve 0) uygulanmıştır. Çalışma sonunda, su kısıtı oranının artmasıyla bitki boyu, koçan, yaprak, gövde verimleri ile toplam verim azalmış ve su kullanım etkinliği de düşük bulunmuştur.

Okursoy (2009), Tekirdağ koşullarında yaptığı çalışmada, farklı sulama yöntemleri (karık ve damla sulama) ve su düzeylerinin (% 0, % 33, % 66, % 100) ikinci ürün silajlık mısırın verim ve verim öğeleri ile su- üretim fonksiyonları üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada, bitki su tüketimi ve yeşil ot verimi en yüksek tam sulamanın yapıldığı (% 100) uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca çalışma sonunda verim tepki faktörünün, karık sulama yönteminde 1,65, damla sulamada 1,47 olduğu ifade edilmiştir.

Topak vd (2009), Konya koşullarında iki yıllık olarak yürütülen çalışmada, üç farklı düzeyde sulama suyu (% 100, % 75 ve % 50) uygulamasının mısır bitkisinin verim ve su kullanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın birinci ve ikinci yılında sırasıyla 839 ve 793 mm sulama suyu uygulanmış, bitki su tüketimlerinde sırasıyla 923 ile 859 mm olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda verim tepki faktörü birinci yıl 0,93, ikinci yıl 1,08, su kullanım etkinliği sırasıyla 1,34 ile 1,83 kg/m³, sulama suyu kullanım etkinliği ise 1,45 ile 2,0 kg/m³ olarak tespit edilmiştir.

Bozkurt and Yazar (2011) tarafından, Türkiye'de Doğu Akdeniz iklim koşullarında farklı sulama düzeylerinin (I20, I40, I60, I80, I100 ve I120) mısırın su kullanımı, verimi ve bazı agronomik parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada, mevsimlik toplam sulama suyu 55 ila 381 mm arasında, ortalama mısır tane verimi de 1,93 ila 10,4 t/ha arasında değişmiştir. En yüksek tane verim ve verim bileşenleri I120'de, en düşük I20 uygulamasında bulunmuştur. Ayrıca, en yüksek su kullanım etkinliği değerinin 1,77 kg/m ile I120 uygulamasında tespit edildiğini, mevsimsel verim tepki faktörünün de 1,98 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir.

Simsek *et al.* (2011), farklı miktarlarda sulama suyunun, yarı kurak şartlar altında mısır verimine ve silaj kalitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, farklı sulama düzeyleri için mevsimsel evapotranspirasyon (ETc), 434-1003 mm arasında değişmiş olup, yeşil ot verimini I25, I50, I75 ve I100 için sırasıyla 35,0, 53,6, 83,3 ve 88,9 t/ha olarak tespit edilmiştir. Sonuçta, en yüksek verim ve silaj kalitesinin, tam (I100) sulama düzeyinden elde edildiğini bildirmişlerdir.

Bouazzama *et al.* (2012), Fas'da, yarı kurak koşullarda su stresinin silajlık mısır büyümesi, su tüketimi ve kuru madde verimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada beş farklı sulama düzeyi (% 100, 80, 60, 40, 20) uygulanmış olup, mısırın bitki boyu, yaprak alan indeksi ve kuru madde verimi incelenmiştir. Çalışma sonunda su kısıtının bitki büyümesini etkilediğini, yaprakların yaşlanmasını hızlandığını ve yaprak alan indeksini azalttığını, kuru madde verimlerinde de sulama suyu azaldıkça verimlerin düştüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca deneme sonunda silajlık mısır için verim tepki faktörü 1,12 bulunmuş olup, deneme bölgesi için silajlık mısırının 1,12'den daha düşük bir verim tepki faktörüne sahip diğer ürünlerden önce sulanması gerektiği ifade edilmiştir.

Karasu *et al.* (2015), farklı sulama suyu düzeylerinin (I125, I100, I75, I50, I25, ve I0) silajlık mısır tane verimini ve bazı morfolojik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla Bursa'da bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma sonunda en yüksek verim I125 uygulamasında belirlenmiş, suyun sınırlı olması durumunda, I75 uygulamasının optimal olacağı bildirilmiştir.

Ucak vd (2015), farklı sulama suyu miktarlarının (% 100, % 70 ve % 35) silajlık mısır çeşitlerinin kuru madde verimi ve silaj kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada bitki su tüketiminin kuru madde veriminin, protein miktarının ve su kullanım randımanının en yüksek % 100 konusundan elde edildiğini bildirmişlerdir.

Ucak *et al.* (2016), yarı kurak iklim koşullarında farklı su kısıtı düzeylerinin silajlık mısırın verimine, kalite ve su kullanım etkinliğine etkilerini belirlemek için iki yıllık

Çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, üç farklı sulama suyu düzeyi (I100, I70, I35) uygulanmış olup, I100 (kontrol) uygulamasında birinci ve ikinci yılda bitki su tüketimleri sırasıyla 770 ve 738 mm olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonunda silaj veriminin ilk yılda 10 650 kg/da, ikinci yılda 10 600 kg/da elde edildiğini, su kısıtının artmasıyla silaj verimi ve kalitesinde düşüşlerin olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca verim tepki faktörünün 0,74-1,06, sulama suyu kullanım etkinliğinin 3,80-5,10 kg/da m³ ve su kullanım etkinliğinde 3,62 ile 4,42 kg/da m³ arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

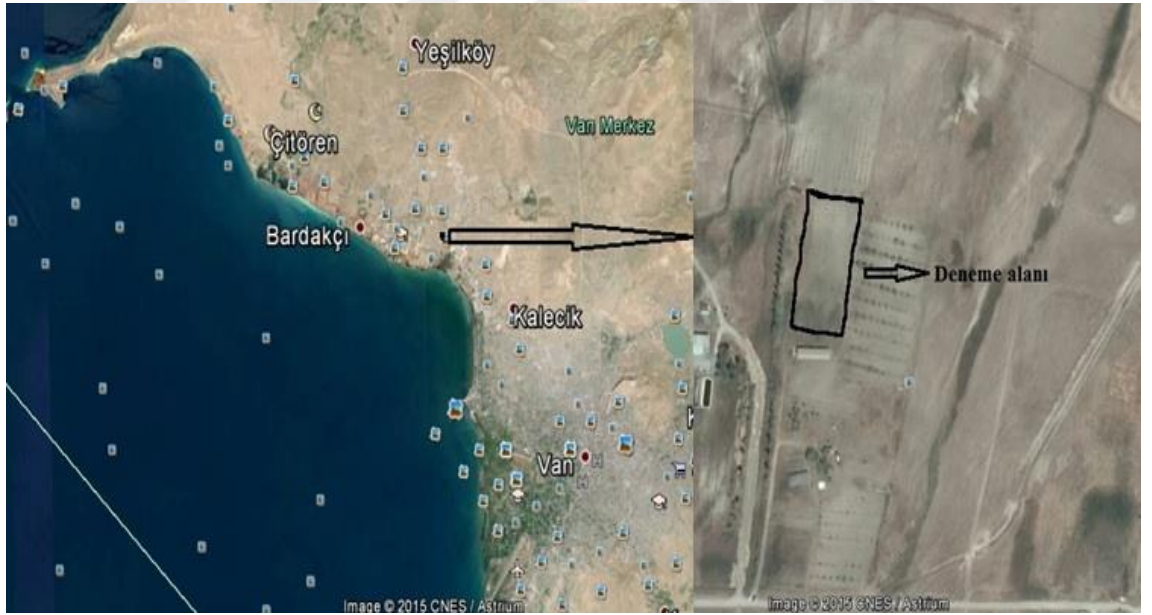


3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma yeri

Van İli, Doğu Anadolu Bölgesi' nin volkanik dağlarla kaplı çukur kesiminde bulunan ve Anadolu' nun en büyük kapalı havzasına adını veren Van Gölü' nün kıyısında yer almaktadır. Bu araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Çiftliği' ne ait deneme alanında 2015 ve 2016 yıllarında yürütülmüştür (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Deneme alanı 36, 576° kuzey enlem 43, 29° doğu boylamında denizden 1680 m yükseklikte yer almaktadır.



Şekil 3.1. Deneme bölgesi uydu görüntüsü (Nisan 2015)



Şekil 3.2. Deneme alanının 2016 yılı uydu görüntüsü

3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri

Araştırma alanı karasal iklim kuşağı içinde yer alsa da hemen yakınında küçük bir deniz karakteri gösteren Van Gölü' nün bulunması, iklimin daha yumuşak geçmesine sebep olmaktadır. Silajlık mısırın vejetasyon dönemi (Haziran- Eylül) boyunca ortalama en yüksek sıcaklık (31,9 °C) 2015 yılında temmuz, 2016 yılında ise ağustos ayında (32,8 °C), en düşük sıcaklık (2015; 14,6 °C, 2016; 10,9 °C) ise her iki yılda da Eylül ayında görülmüştür (Çizelge 3.1). Çizelge 3.1' deki 2015 ve 2016 iklim verileri deneme alanına yaklaşık 30 m mesafede kurulu meteoroloji istasyonundan alınmıştır (Şekil 3.3). Ayrıca 2015 ve 2016 yıllarına ait güneşlenme süreleri Cropwat 8. Yazılımına bazı iklim verilerinin girilmesiyle otomatik olarak hesaplanmıştır. Uzun yıllar ortalama yıllık yağış

388,5 mm değerine göre bölge kuraklık sınırında olup yarı kuraktır. 2015 ve 2016 yıllarında vejetasyon periyodunda toplam yağış sırasıyla 81,8 mm ve 55,4 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.4).

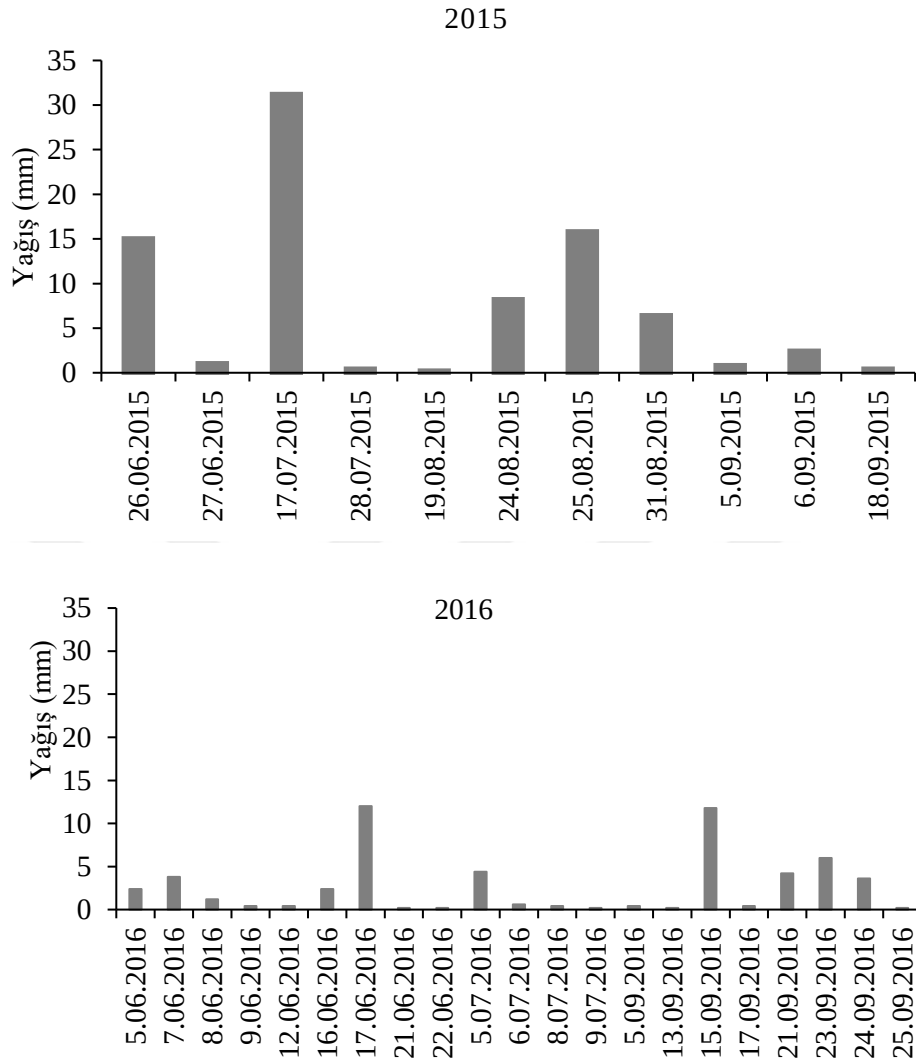
Çizelge 3.1. Van ili uzun yıllar (Anonim 2016a) ve deneme alanı 2015 ve 2016 yıllarına ilişkin iklim verileri

Yıllar	Parametreler	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
2015*	Ortalama sıcaklık (°C)	21,9	25,0	24,6	20,8
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	28,5	31,9	31,5	27,6
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	14,2	17,3	17,6	14,6
	Güneşlenme süresi (h)	12,4	12,2	11,6	11,2
	Yağış (mm)	16	31,6	30,6	3,6
	Rüzgâr hızı (m / s)	2,1	2,2	2,3	2,2
	Bağıl nem (%)	38,5	30,6	33,7	34,9
	Buharlaşma (mm)	84,1	217,2	195,9	151,2
2016*	Ortalama sıcaklık (°C)	18,9	23,3	24,7	18,3
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	25,0	30,6	32,8	25,4
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	12,6	16,1	16,6	10,9
	Güneşlenme süresi (h)	12,0	12,4	12,1	11,3
	Yağış (mm)	23,0	5,6	0,0	26,8
	Rüzgâr hızı (m / s)	3,2	2,5	1,9	2,0
	Bağıl nem (%)	46,9	40,5	31,1	44,1
	Buharlaşma(mm)	168,9	207,4	189,1	107,2
Uzun yıllar (1976-2016)	Ortalama sıcaklık (°C)	18,2	22,3	22	17,3
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	23,9	28,2	28,4	24,2
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	10,7	14,5	14,5	10,6
	Güneşlenme süresi (h)	11,7	12,1	11,4	9,8
	Yağış (mm)	18,3	5,4	3,7	13,7
	Rüzgâr hızı (m / s)	2,0	2,1	2,2	2,1
	Bağıl nem (%)	47,8	45,0	42,9	44,9
	Buharlaşma (mm)	168,7	201,3	187,5	147,2

*iklim verileri vejetasyon dönemini kapsamaktadır.



Şekil 3.3. Deneme alanında kurulu meteoroloji istasyonu



Şekil 3.4. 2015 ve 2016 yıllarında deneme alanında ölçülmüş bireysel yağış miktarları

3.1.3. Deneme tarlasının toprak özellikleri

Deneme öncesi ilk yıl alanın üç farklı noktasında açılmış (Şekil 3.5) olan toprak profillerinin farklı katmanlarından (0-30, 30-60, 60-90 cm) bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Örneklerin analizi sonucunda toprağın bazı fiziksel (toprak bünyesi, hacim ağırlığı, özgül ağırlık, porozite, ıslak agregat stabilitesi), hidrolik (tarla kapasitesi, devamlı solma noktası, su tutma kapasitesi) ve kimyasal özellikleri (elektriksel iletkenlik-EC, pH, CaCO_3 , organik madde, Toplam N, P_2O_5 , K_2O , değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na ve K), katyon değişim kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), mikro

element ve ağır metaller) belirlenmiştir (Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3). Denemede ikinci yıl tarlanın sulama yapılmayan deneme parselleri dışında bir alanda sadece hacim ağırlığı, TK ve SN belirlenerek su tutma kapasitesi hesaplanmış ve sulamalarda bu değer dikkate alınmıştır. Deneme alanındaki toprakların bünyesi kumlu killi tın olarak belirlenmiş olup, katmanların hacim ağırlığı 1,31- 1,40 g/cm³, tarla kapasitesi % 30,4- 31,3 ve devamlı solma noktası % 18,0- % 18,3 arasında değişmiştir (Çizelge 3.2). İkinci yıl tarla kapasitesi, devamlı solma noktası ve hacim ağırlığı değerleri 0-30 cm toprak tabakasında sırasıyla % 30,7, % 18,5 ve 1,36 g/cm³, 30-60 cm toprak tabakasında % 31,1, % 17,9 ve 1,39 g/cm³, 60-90 cm toprak tabakasında da % 30,3, % 17,8 ve 1,31 olarak belirlenmiştir. Deneme alanı her iki yılda da aynı olduğundan toprak su tutma kapasiteleri 90 cm etkili kök derinliğinde yaklaşık olarak birbirine eşit belirlenmiştir (2015 yılında 155,1 mm/90 cm, 2016 yılında 153,9 mm/90 cm).



Şekil 3.5. Deneme tarlası örnekleme profili

Çizelge 3.2. Deneme tarlasının farklı derinliklerindeki toprağın ekim öncesi bazı fiziksel ve hidrolik özellikleri

Derinlik (cm)	Tane büyüklük dağılımı (%)			Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi (% Pw)	Devamlı solma noktası (% Pw)	Yarayışlı su (mm)	Özgül ağırlık	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Porozite (%)	Agregat stabilitesi (%)
	Kum	Silt	Kil								
0-30	47,3	26,2	26,5	Kumlu killi tın	30,4	18,3	48,8	2,69	1,34	50,1	44,1
30-60	46,8	25,5	27,7	Kumlu killi tın	31,3	18,1	55,2	2,68	1,40	47,8	44,7
60-90	48,1	25,6	26,3	Kumlu killi tın	31,0	18,0	51,1	2,68	1,31	51,1	44,5

Çizelge 3.3. Deneme tarlası toprağının ekim öncesi bazı kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	EC dS/m	pH	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)	Toplam N (%)	K ₂ O (kg/da)	P ₂ O ₅ (kg/da)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	KDK (cmol/kg)	ESP (%)
0-30	0,217	8,08	1,06	11,2	0,078	84,3	9,68	14,70	4,92	0,311	1,03	20,96	1,48
30-60	0,232	8,12	0,88	12,5	0,073	86,5	9,85	15,02	5,11	0,347	0,98	21,46	1,62
60-90	0,259	8,43	0,74	15,4	0,081	91,2	7,32	14,83	4,96	0,335	1,09	21,22	1,58

Çizelge 3.4. Deneme tarlası toprağının ekim öncesi mikro element ve ağır metal içerikleri

Derinlik (cm)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
0-30	0,202	4,21	2,14	7,35	52,2	3,64	0,018	0,178	0,119
30-60	0,218	3,86	2,03	6,82	47,3	3,47	0,020	0,163	0,106
60-90	0,195	3,25	1,59	4,94	35,8	3,08	0,017	0,154	0,082

Topraklarının EC değerleri 0,217-0,259 dS/m, CaCO₃ içeriği % 11,2-15,4 arasında ve organik madde içeriği % 0,74-1,06 arasında bulunmuştur. Bu rakamlara göre tuzluluk sorunu bulunmayan topraklar, pH açısından orta alkalın sınıfında, organik madde içeriği düşük ve kireç bakımından orta sınıfta yer almıştır (Ergene 1987; Sezen 1995).

3.1.4. Deneme bitkisi zellikleri

Araştırmada, bölge ekolojik koşullarına adapte olmuş yazlık ve orta erkenci OSSK - 644 eşidi hibrit silajlık mısır kullanılmıştır. Bitki materyali Tarım rnleri Araç Gereç İthalat İhracat ve Tic. A.ř. (TAREKS)' den temin edilmiştir.

OSSK – 644 eşidi, silajlık olarak tescil edilen ilk çeşit ve FAO 650 grubu tek melez hibrit mısırdır. Bu çeşidin silaj kalitesi yüksek, hasat süresi bölgeye göre değişmekte olup ortalama 100-120 gündür (Anonim 2017).

3.1.5. Sulama suyu kaynakları

Araştırmada sulama suyu olarak kullanılan arıtılmış atık su, deneme alanına yaklaşık 5 km mesafe bulunan Van İskele Atıksu Arıtma Tesisi' den temin edilmiştir (şekil 3.6). Kanalizasyon hattı ile tesise giren ham atık su fiziki arıtmadan (kum tutucu, kaba ve ince ızgara) geçtikten sonra n keltim havuzuna daha sonra da havalandırma havuzuna aktarılmaktadır. Havalandırılarak bakteri havuzundan geçen atık su son keltim ünitesine gelmekte ve buradan da Van Glne arıtılmış halde deşarj edilmektedir. Arıtma Tesisi ıkış suyu bir arazz yardımıyla deneme alanında bulunan 10'ar ton' luk 2 tanka doldurulmuş ve bir gün içerisinde sulamada kullanılmıştır (şekil 3.7, şekil 3.8).

Denemede kullanılan temiz su ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Araştırma ve Uygulama iftlik Müdürlüğü' ne ait deneme alanında bulunan sulama havuzundan alınmıştır.



Şekil 3.6. Van İskele Atık Su Arıtma Tesisi çıkış suyu



Şekil 3.7. Arıtılmış atık suyu taşıma aracı



Şekil 3.8. Arıtılmış atık suyun deneme alanında depolanması

3.1.6. Sulama yöntemleri

Denemede geleneksel karık ile yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemleri kullanılmıştır. Karık sulamada her sıraya yaklaşık 20-25 cm derinliğinde birer karık açılmış ve sonları kapatılmıştır. Denemede kullanılan hem yüzey altı hem de yüzey üstü damla sulama sistemleri ana boru ($\varnothing 75$), manifold borular ($\varnothing 32$) ve laterallerden ($\varnothing 16$) oluşturulmuştur (Şekil 3.9). Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama yönteminde kullanılan lateraller deneme toprağının infiltrasyon karakteristiklerine uygun olarak 33 cm aralıklı içten geçik (in-line) 2,3 l/h debili damlatıcılara sahiptir. Yüzey üstü damla sulama sisteminde ana boru, manifold boruları ve lateraller her sıraya bir lateral gelecek şekilde 70 cm aralıklarla yüzeye serilmiş olup, yüzey altı damla sulama sisteminde ise ana boru ve manifold boru hattı yüzeye, lateraller ise yine 70 cm aralıklarla yaklaşık 25 cm derinliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Planlı sulamalar başlayıncaya kadar da ana boru hattına monte edilmiş yağmurlama yöntemiyle sulama yapılmıştır.



Şekil 3.9. Ana boru ve manifold boruların görünümü



Şekil 3.10. Yüzey altı damla sulama sisteminde lateralın görünümü

3.1.7. Toprak hazırlığı, ekim ve hasat

Deneme alanının toprak hazırlığı yapılırken; öncelikle derin sürüm (35-40 cm) yapılmış sonrasında rotavatör ile mevcut kesekler parçalanmıştır (Şekil 3.11). Parçalama işleminden sonra yüzey tesviyesi yapıp deneme parselleri oluşturulmuştur. Her bir parsel, uzunluğu 7 m, eni 3,5 m olan 5 bitki sırasından oluşturulmuştur. Ekim öncesi yüzey altı damla sulama için lateraller yaklaşık 25 cm toprak derinliğine hendekler açılarak yerleştirilmiştir. Karık sulamada karık sonları kapatılarak suyun karık dışına akışı önlenmiştir.

Deneme parsellerinin oluşturulmasından sonra birinci yıl toprağın geç tava gelmesi nedeni ile 18 Haziran tarihinde pünomatik mibzer ile (Şekil 3.12), ikinci yıl ise toprağın uygun tavrda olduğu 3 Haziran tarihinde el ile 3-4 cm derinliğe sıra arası 70 cm, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde ekim yapılmıştır. Tam sulanan deneme konularının % 50'sinin süt olum-hamur olum evresine ulaştığı birinci yıl 30 Eylül, ikinci yıl 26 Eylül tarihinde elle hasatlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Deneme alanı toprağının hazırlanması



Şekil 3.12. Pünomatik mibzerle ekim yapılması

3.1.8. Bakım ve gübreleme

Deneme öncesi yapılan toprak analiz sonuçlarına göre, deneme alanı topraklarında eksik görülen besin elementleri, ekim sırasında dekara 9 kg üre (%45-46 N) ve 15 kg triple süper fosfat (%43-46 P) gübresi ile tüm parsel yüzeyine homojen uygulanarak tamamlanmıştır. Gübreleme işlemi birinci yıl tüm parsellere, ikinci yıl ise arıtılmış atık su uygulamalarının etkisini daha belirgin görebilmek için sadece kontrol parsellerine uygulanmıştır. Toprakların potasyum içeriği yeterli olduğu için potasyum gübresi uygulanmamıştır. Ekim işlemi tamamlandıktan sonra her iki yılda da bütün parsellere yağmurlama sulama yöntemi ile temiz su uygulanarak mevcut toprak nemi tarla kapasitesine tamamlanmıştır. Bitkiler yaklaşık 30-40 cm boya ulaştığında ara çapası yapılmış (Şekil 3.13) ve çapalama ile beraber yağmurlama sulama sistemiyle dekara 4,5 kg üre gübrelemesi yapılmıştır. Azotlu gübrenin üçüncü dilimide planlı sulamalar başladıktan sonra dekara 4,5 kg olacak şekilde ikinci çapalama döneminde (kök doldurma) karık sulama yönteminde karık sırtlarına elle serpmeye yoluyla, damla sulamada da sulama suyuna karşılaştırılarak uygulanmıştır. Denemede herhangi bir ilaçlamaya gereksinim duyulmamıştır.



Şekil 3.13. Ara çapalaması yapılan parsel görüntüsü

3.2. Yöntem

Deneme konuları, deneme deseni, yapılan ölçümler ve gözlemler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1. Deneme konuları

Çalışmada iki farklı su kalitesi (temiz ve arıtılmış atık su), üç farklı sulama yöntemi (yüzey altı damla, yüzey üstü damla ve geleneksel karık) ve üç farklı sulama seviyesi ele alınmıştır. Damla sulama yöntemlerinde bu yöntemin doğası gereği ıslatılacak alan ve dolayısıyla uygulanacak su miktarları geleneksel karık sulama yönteminden daha az olacağından ve ayrıca alt konuların istatistiksel değerlendirilmesi açısından interaksiyon sayısının fazlaca artırılmaması amacıyla her sulama yöntemi için farklı bir deneme kurulmuştur.

Sulama yöntemleri

- YA : Yüzey altı damla sulama
- YÜ : Yüzey üstü damla sulama
- GS : Geleneksel karık sulama

Ana konular (Su kalitesi)

- AS : Arıtılmış atık su
TS : Temiz su

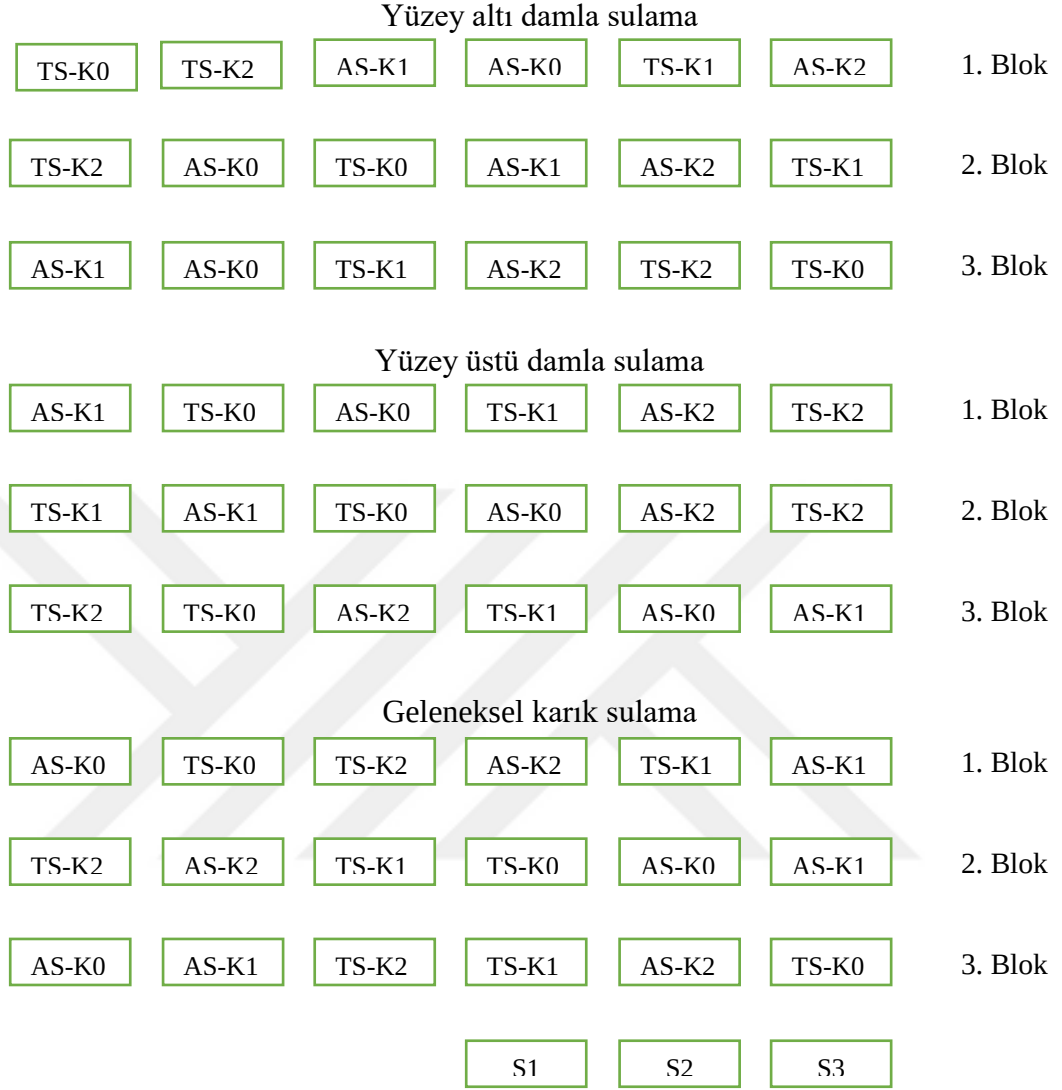
Alt konular (Sulama seviyeleri)

- K0 : Su kısıtı uygulanmamıştır (Her sulamada hem temiz hem de atık su uygulanan parsellerde mevcut nemi tarla kapasitesine getirecek kadar su uygulanmıştır).
K1 : K0 konusuna verilen suyun % 67'si uygulanmıştır.
K2 : K0 konusuna verilen suyun % 33'ü uygulanmıştır.

Arıtılmış atık su parsellerinde de temiz su parsellerine uygulanan sulama suyu miktarları dikkate alınarak aynı miktarda sulamalar gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Deneme düzeni

Her sulama yönteminde denemeler tesadüf blokları faktöriyel deneme desenine göre 2 farklı su kalitesi [arıtılmış atık su ve temiz su (kontrol)] ve 3 farklı sulama seviyesi (%100, %67, %33) uygulanarak 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her denemede ana parselleri farklı kalitedeki sular, alt parselleri ise farklı sulama seviyeleri oluşturmaktadır. Ayrıca 3 tekerrürlü sulamasız konu (S) da deneme alanında oluşturulmuştur. Böylece 3 farklı denemede toplam parsel sayısı 57' dir. Deneme parselleri 70 cm aralıklı 5 sıra halinde, 3,5 m x 7 m boyutlarında olmak üzere 24,5 m² alana sahiptir. Parsellerin düzenlenmesi sırasında, yan etkileri önlemek amacıyla parseller arasında 2 metre, bloklar arasında 2,5 m ve sulama yöntemi konuları arasında da 3 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Deneme parsellerinin yerleşim planı

3.2.3. Sulama zamanının belirlenmesi ve nem ölçümleri

Sulama zamanının belirlenmesi için referans ET_0 yaklaşımı kullanılmıştır. Deneme alanında bulunan meteoroloji istasyonundan (Imetos 2 modeli) günlük iklim verileri alınarak Penman-Monteith yöntemine göre hesaplama yapan CROPWAT 8.0 yöntemi ile gerekli hesaplamalar yapılmış ve referans ET_0 değeri 50 ± 5 mm olduğunda sulama miktarını belirlemek için toprak nemi ölçülmüştür. Toprak nemi, her sulama yöntemi için temiz suyla tam sulama yapılan kontrol parsellerden; yüzey üstü ve yüzey altı damla

sulama sistemlerinin olduğu konularda iki bitki arasına denk gelecek şekilde damlatıcıdan yaklaşık 15-20 cm uzaklıktan, geleneksel karık sulama yönteminde ise 2 bitki sıra arasında orta noktadan 90 cm derinliğe kadar 30'ar cm toprak katmanlarından gravimetrik olarak her sulama öncesi belirlenmiştir. Belirlenen mevcut nemler tarla kapasitesine tamamlanarak sulamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, diğer tüm parsellerin sulama öncesi nemleri de kontrol parsellerine benzer şekilde ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Planlı sulamalardan önce bütün parseller, yağmurlama sulama yöntemi ile (2015 yılında dört, 2016 yılında üç defa) temiz su kullanılarak eşit düzeyde (mevcut nemi tarla kapasitesine getirecek kadar) sulanmıştır. Vejetatif aksam yaklaşık 50 cm boya ulaştığında planlı sulamalara geçilmiş ve hasada kadar devam etmiştir.

3.2.4. Sulama suyu gereksiniminin belirlenmesi

Denemede, herhangi bir kısıt uygulanmadan tam sulama konularına uygulanacak olan sulama suyu miktarı ve hacmi, aşağıdaki eşitlik 3.1 ve eşitlik 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır (Güngör ve Yıldırım 1989).

$$I = \frac{(TK - MN)}{100} \times \gamma_t \times D \times P \quad (3.1)$$

$$V = I \times A \quad (3.2)$$

Eşitliklerde;

- I : Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı (mm)
- TK : Tarla kapasitesinde tutulan nem (% Pw)
- MN : Mevcut nem (% Pw)
- γ_t : Toprağın hacim ağırlığı (g/cm³)
- D : Etkili kök derinliği (mm) (ekimden itibaren ilk iki sulamada 30 cm, diğer sulamalarda 90 cm alınmıştır)
- P : Islatma oranı (geleneksel karık sulamada: 1, yüzey üstü damla sulamada: 0,65 ve yüzey altı damla sulamada: 0,50)
- V : Her sulamada uygulanacak sulama suyu hacmi (l)
- A : Parsel alanı (m²)

Gereksinilen sulama miktarları sayaçla ölçülerek parsellere uygulanmıştır.

3.2.5. Bitki su tüketiminin belirlenmesi

Mısır bitki su tüketimleri Allen *et al.* (1998) tarafından aşağıdaki verilen su bütçesi eşitliği ile belirlenmiştir.

$$ETa = I + P + C_r - D_w - R_f \pm \Delta S \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

- ETa : Gerçek bitki su tüketimi (mm)
- I : Uygulanan sulama suyu (mm)
- P : Yağış (mm)
- C_r : Kapilar yükselme (mm)
- D_w : Derine sızma (mm)
- R_f : Yüzey akış (mm)
- ΔS : Etkili kök derinliğinde nem miktarı değişimi (mm)

Deneme alanında taban suyu derinde olduğundan kapilar yükselme ile kök bölgesine su taşınımı dikkate alınmamıştır. Damla sulamada toprağın infiltrasyon karakteristiklerine uygun damlatıcı seçildiği ve geleneksel sulamada karık sonları kapatıldığı için yüzey akışla su kaybı olmamıştır. Sulamalarda üst sınır TK alındığından derine sızma ihmal edilmiş, ancak yağıştan kaynaklanabilecek derine sızma miktarını belirlemek için gelen suyun tarla kapasitesini aşan kısmı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda sadece 2015 yılında 1 kez aşırı yağış gerçekleşmiştir (Şekil 3.4 ve 4.2). Toprak nem içeriğindeki değişimleri belirlemek için ekim öncesi, her sulama öncesi ve hasattaki 90 cm derinlikteki nemler dikkate alınmıştır.

3.2.6. Su kullanım etkinliği (WUE) ve Sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE)' nin belirlenmesi

Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları, hesaplanan bitki su tüketimi değerleri ile konulardan elde edilen silajlık ot verimleri dikkate alınarak sulama suyu

kullanım ve su kullanım etkinlikleri aşağıda eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir (Howell 2001; Zhang *et al.* 2004).

$$WUE = \frac{Y_i}{ET} \quad (3.4)$$

$$IWUE = \frac{Y_i - Y_0}{I} \quad (3.5)$$

Eşitliklerde;

- WUE : Su kullanım etkinliği (kg/m³)
- IWUE : Sulama suyu kullanım etkinliği (kg/m³)
- Y_i : Sulanan konuda silajlık verim (kg/ da)
- ET : Bitki su tüketimi (mm)
- Y₀ : Sulanmayan konuda silajlık verim (kg/ da)
- I : Sulama suyu miktarı (mm)

3.2.7. Su-verim ilişkisi

Su- verim ilişkileri regrasyon tekniği ile analiz edilmiştir. Yine su stresinin verim üzerindeki etkisini ortaya koyan verim tepki faktörünü (ky) belirlemek için Stewart modeli olarak tanımlanan aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Doorenbos and Kassam 1979).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = ky \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

- Y_a : Gerçek verim (kg/da)
- Y_m : Maksimum verim (kg/da)
- ky : Verim tepki faktörü
- ET_a : Gerçek mevsimlik su tüketimi (mm)
- ET_m : Maksimum mevsimlik su tüketimi (mm)

3.2.8. Bitki ölçümleri ve analizleri

3.2.8.1. Bitkilerde fiziksel ölçümler

Bitkilerde hasat sonrası gerçekleştirilen fiziksel ölçümler aşağıda verilmiştir.

Bitki boyu (cm): Her parselden kenar etkisi dışında kalan tesadüfen seçilen 10 bitkide, toprak yüzeyinden tepe püskülünün ilk dalının bağlandığı boğuma kadar olan mesafe ölçülüp ortalamaları alınmıştır (Şekil 3.15) (Başer ve Gençtan 1999).

Gövde çapı (cm): Her bir hasat parselinden alınan 10 bitki örneğinin gövde kalınlıkları 2. ve 3. boğum arasından mm olarak ölçülmüştür. Ölçümler dijital kumpas ile yapıp ortalaması alınmıştır (Şekil 3.16) (Başer ve Gençtan 1999).

Silajlık ot verimi (kg/da): Süt olum- hamur olum döneminde her parselde hasat parselinin içindeki bitkiler toprak seviyesinden kesilip tartılmış birim alana (kg/da) uyarlanarak silajlık ot verimleri belirlenmiştir (Çarpıcı 2009).

Kuru madde verimi (kg/da): Her parselden parseli temsil edecek şekilde rastgele iki bitki seçilip yaş ağırlığı tartılmıştır. Bitki belli bir süre soldurulduktan sonra kurutma dolabında 78 °C’de 24- 48 saat kurutulmuştur (Neto *et al.* 2004). Elde edilen kuru ağırlık yaş ağırlığa bölünerek kuru madde oranı tespit edilmiş ve bu değer silajlık ot verimi ile çarpılarak kuru madde verimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.15. Bitki boyunun ölçülmesi



Şekil 3.16. Bitki gövde çapının ölçülmesi

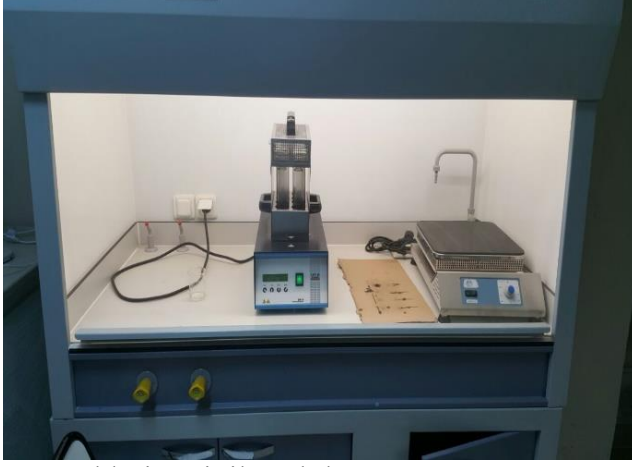
3.2.8.2. Bitki kimyasal analizleri

Toplam Azot: Öğütülmüş bitki örneklerinde Kacar (2014)'a göre Kjeldahl yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.17).

Toplam Fosfor: Yakma işlemi sonucunda elde edilen çözeltideki fosfor miktarı kolorimetrik olarak Kacar (2014)'a göre belirlenmiştir.

Protein oranı (%): Analizler sonucu bulunan azot miktarı 6.25 katsayısı ile çarpılarak protein oranları bulunmuştur (Bremner 1965).

ADF (Asit deterjan lif %); ve NDF (Nötral deterjan lif %): 1 mm'lik elekten geçirilerek öğütülen örnekler, ANKOM 200 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp. Fairport, NY, USA) cihazına yerleştirilip ADF ve NDF için hazırlanmış olan solüsyonlar eklenerek cihaz çalıştırılmıştır. İşlem sonrası iki defa sıcak su bir defa soğuk su ile durulama yapılmış ve asetonda bekletilmiştir. Aseton uçurularak etüvde 105 °C' de 2-4 saat bekletip oda sıcaklığında tartılarak hesaplanmıştır (Van Soest 1963; Van Soest and Wine 1967).



a. örneklerin asit ile yakılması



b. örneklerin distile edilmesi

Şekil 3.17. Azot tayini

Makro- mikro besin elementleri ve ağır metaller (B, Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni): Anonim (1996, 2007)'da belirtilen metoda göre 65 °C' de kurutulmuş ve 0,15 mm' lik elekten elenmiş 0,2 gr bitki örneği yaş yakma cihazı (ETHOS EASY, Milestone S.r.l., İtalya) tüplerine konulmuştur (Şekil 3.18). Daha sonra tüpün içine 6 ml HNO_3 + 2 ml H_2O_2 asit ilave edilerek örnek yüksek basınçta yaş yakılmış (Şekil 3.19) ve filtre kağıdı ile süzölmüş ve İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP- OES) cihazı ile okumalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Yüksek basınca dayanıklı yaş yakma tüpleri



Şekil 3.19. Yaş yakma işlemi

3.2.8.3. Klorofil içeriğinin belirlenmesi

Yaprakların klorofil miktarına bağımlı olarak değişen yeşilin tonunu (SPAD) belirlemek amacıyla Şekil 3.20’ de gösterilen 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, hasattan önce her parselden üç bitkinin orta kısmındaki yapraklarından 10’ ar okuma yapılmış ve okumaların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.20. SPAD ölçümü

3.2.8.4. Yaprak oransal su içeriği

Denemede hasat öncesi 10.00-14.00 saatleri arasında her parselden bitkiye temsil edecek şekilde 3' er adet yaprak örneği alınmıştır. Alınan yaprak örneklerinin ağırlıkları (YYA) hassas terazide tartılmış ve yapraklar 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkartılıp tartılarak turgor ağırlıkları (YTA) saptanmış olan yaprak örnekleri 65°C etüvde 48 saat kurutulup tekrar tartılarak fırın kuru ağırlıkları (YKA) belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak aşağıdaki Eşitlik (3.7) yardımı ile yaprak oransal su içeriği (%) hesaplanmıştır (Smart and Barss 1973; Kaya 2011).

$$YOSİ = \frac{(YYA - YKA)}{(YTA - YKA)} \times 100 \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

YOSİ : Yaprak oransal su içeriği (%)

YYA : Yaprak yaş ağırlığı (g)

YKA : Yaprak fırın kuru ağırlığı (g)

YTA : Yaprak turgor ağırlığı (g)

3.2.8.5. Yaprak alan indeksi

Yaprak alan indeksinin belirlemek için, Licor 3000C Model, çözünürlüğü 1 mm (1 mm x 1 mm) alan tarama ve doğruluk taraması $\pm \% 2 > 50$ cm özelliklerine sahip yaprak alan ölçer aleti kullanılmıştır (Şekil 3.21).

Hasatta her parselde deneme hasat alanı içinde kalan 3 bitkinin bütün yapraklarının alanı ölçülerek bir bitkinin tüm yaprak alanı hesaplanmış ve ortalama yaprak alanı, her bitkiye ait birim alana (0,15 cm x 0,70 cm) oranlanarak her bir sulama konusuna ilişkin yaprak alan indeksleri (YAI) belirlenmiştir (Stewart and Dwyer 1999).



Şekil 3.21. Yaprak alanının ölçülmesi

3.2.8.6. Membran zararlanmasının belirlenmesi

Membran zararlanması yaprak hücrelerinden dışarıya çıkan elektrolitin ölçülmesi ile hesaplanmıştır (Kaya *et al.* 2003; Jamei *et al.* 2009). Hasat öncesi her deneme parselin hasat alanındaki üç bitkinin yapraklarından disk (10 mm çap) şeklinde alınan örnekler 50 ml' lik tüplerde 30 ml de- iyonize su içinde 24 saat oda sıcaklığında bırakıldıktan sonra tüp içindeki suyun elektriksel iletkenliği ölçülüp EC1 değeri elde edilmiştir. Daha sonra içinde örnek bulunan tüpler 95 °C sıcaklıktaki su banyosunda 20 dakika tutulup oda sıcaklığına kadar soğutulup tüp içindeki suyun elektriksel iletkenliği tekrar ölçülerek EC2 değeri bulunmuştur (Şekil 3.22). Bulunan birinci ve ikinci değerler kullanılarak aşağıdaki Eşitlik (3.8) yardımı ile de membran zararlanma yüzdesi (MZİ) belirlenmiştir.

$$MZİ = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (3.8)$$



Şekil 3.22. Membran zararlamasının belirlenmesi a) 24 saat bekletme, b) EC değerlerinin ölçülmesi, c) sıcak su banyosunda bekletme

3.2.9. Toprak örneklerinin alınması ve analizleri

Denemenin her iki yılında da bitkilerin hasatından sonra her parselden verimlilik analizleri için 0-20 cm ve 20-40 cm katmanlardan, hidrolik özelliklerin belirlenmesi için de 0-30 cm' lik katmandan toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde hacim ağırlığı, özgül ağırlık, porozite, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasında tutulan su, su tutma kapasitesi, pH, EC, CaCO_3 , organik madde, toplam N, K_2O , P_2O_5 , kation değişim kapasitesi (KDK), değişebilir kasyonlar (Ca, Mg, Na, K), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), mikro element ve ağır metal analizleri (B, Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) yapılmıştır. Ayrıca, toprakların deneme öncesi ve deneme sonrası infiltrasyon karakteristikleri de çift silindirli infiltrometre ölçümleri ile belirlenmiştir. Toprak örnekleri analizler yapılmıncaya kadar koruma amaçlı saklama dolaplarında bekletilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Toprak örneklerinin depolanması-korunması

Toprakta yapılan analiz ve ölçümlerde kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

Toprak bünyesi: Deneme öncesi toprağın 0-30, 30-60 ve 60-90 cm katmanlarının kum, silt ve kil içeriklerinin belirlenmesinde Bouyoucous Hidrometre yöntemi kullanılmıştır (Gee and Bauder 1986). Tekstür üçgeni yardımıyla da bünye sınıfları belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı: 100 cm³ hacimli silindire alınan bozulmamış toprak örnekleri etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulup, fırın kuru ağırlığının toplam silindir iç hacmine bölünmesiyle bulunmuştur (Blake and Hartge 1986a).

Özgül ağırlık: Piknometre yöntemiyle belirlenmiştir (Blake and Hartge 1986b)

Toplam Porozite: Toprağın hacim ağırlığı ve özgül ağırlık kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplama yoluyla belirlenmiştir (Danielson and Sutherland 1986).

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_t}{G_s \times \gamma_w}\right) \times 100 \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

n : Porozite (%)

γ_t : Hacim ağırlığı (g/cm³)

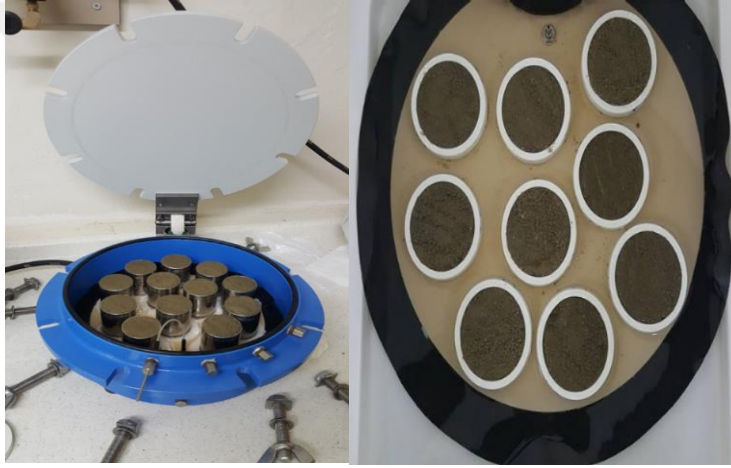
G_s : Özgül ağırlık

γ_w : +4 °C’ deki saf suyun hacim ağırlığı (1g/cm³)

Islak agregat stabilitesi: Islak eleme yöntemiyle belirlenmiştir (Kemper and Rosenau 1986).

Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasında tutulan su: Su ile doygün hale getirilen örnekler tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası için sırasıyla 0.33 atm ve 15 atm basınçlar altında tutularak membran aletinde belirlenmiştir (Şekil 3.24) (Klute 1986). Tarla kapasitesi için bozulmamış toprak örnekleri kullanılmıştır.

Yarayışlı su tutma kapasitesi: Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası değerleri kullanılarak hesaplama yoluyla belirlenmiştir (Cassel and Nielsen 1986).



Şekil 3.24. Basınçlı membran aletinde tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasının belirlenmesi

Toprak reaksiyonu (pH): Saturasyon çamurundan elde edilen süzükte pH metre ile doğrudan okunmuştur (Richards 1954).

Elektriksel iletkenlik (EC): Saturasyon çamurundan elde edilen süzükte elektriksel iletkenlik aleti ile doğrudan okunmuştur (Tüzüner 1990).

CaCO₃: Scheibler kalsimetresi kullanılarak belirlenmiştir (Kacar 2009).

Organik madde: Walkey-Black yönteminin modifikasyonu uygulanarak belirlenmiştir (Walkey 1947).

Toplam Azot: Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Allison *et al.* 1965) (Şekil 3.17).

Alınabilir Potasyum (K₂O): Richards (1982)' e göre amonyum asetat çözeltisinden elde edilen süzüğe geçen potasyum miktarının fleymfotometrede okunmasıyla belirlenmiştir. Bulunan K miktarıda dönüşüm katsayısı ile çarpılarak K₂O elde edilmiştir.

Alınabilir Fosfor (P₂O₅): Olsen *et al.* (1954)'da belirtilen esaslara göre belirlenmiştir.

Değişebilir Ca, Mg, Na ve K: Richards (1982)'e göre örneklerin 1 N Amonyum asetat, pH=7 ile ekstrakte edildikten sonra süzükte, ICP OES spektrofotometresinde okunarak belirlenmiştir.

Kasyon değiştirme kapasitesi (KDK): Normal tarım topraklarında KDK Ca, Mg, Na ve K'dan meydana geldiğinden değişebilir kasyonların (Ca +Mg +Na ve K) toplanmasıyla bulunmuştur (Sezen 1995).

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP): Aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır (Page *et al.* 1982).

$$ESP = \left(\frac{Na_x}{KDK} \right) \times 100 \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi

Na_x : Değişebilir sodyum (cmol/kg)

KDK : Kasyon değişim kapasitesi (cmol/kg)

Mikro element ve ağır metal içerikleri (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni,); Anonim (1996, 2007)'da belirtilen metoda göre havada kurutulmuş ve 0,15 mm' lik elekten elenmiş 0,2 gr toprak örneği yaş yakma cihazı (ETHOS EASY, Milestone S.r.l., İtalya) tüplerine bırakılmıştır (Şekil 3.18). Daha sonra tübün içine 9 ml HNO₃ + 3 ml H₂O₂ asit (Şekil 3.19) eklenerek yüksek basınçta yaş yakma yapılmış, örnek filtre kâğıdı ile süzölmüş ve İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP- OES) cihazı ile okunmuştur.

3.2.10. Su örneklerinin alınması ve analizleri

Sulama suyu örnekleri her iki yılda da sulama sezonunda haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarının ortalarında olmak üzere 4 kez alınmış ve hızlı bir şekilde laboratuvara

getirilip analizler yapılınca kadar +4 °C sıcaklığa ayarlı buzdolabında bekletilmiştir. Alınan temiz ve arıtılmış atık su örneklerinde; pH, EC, Katyonlar (Ca, Mg, Na, K), Anyonlar (CO₃, HCO₃, SO₄, Cl), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), toplam N (TN), toplam P (TP), Fekal koliform, mikro element ve ağır metal içerikleri (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) belirlenmiştir. Ayrıca % Na, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) ve Langelier Saturasyon İndeksi (LSI) değerleri de hesaplanmıştır.

Ölçümlerde kullanılan yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

pH: pH metre ile ölçülmüştür (Ayyıldız 1983).

Elektriksel iletkenlik (EC): Kondüktivimetre ile doğrudan ölçülmüştür (Ayyıldız 1983).

CO₃ ve HCO₃: Fenolftaleyn ve bromkrosel yeşili indikatörleri kullanılarak sülfirik asitle yapılan titrasyon ile belirlenmiştir (Tüzüner 1990).

SO₄: Hazır kit kullanılarak Hach Lange Dr 5000 UV/VIS marka spektrofotometrede okumalar yapılarak belirlenmiştir (HACH 2005).

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

KOİ: LCK 400 Hach hazır kitleri kullanılarak hazırlanan örneklerin öncelikle Permo reaktör cihazında ısıtılarak tepkimeye girmesi sağlanmış sonrasında Hach Lange Dr 5000 UV/VIS marka spektrofotometrede okumalar gerçekleştirilmiştir (HACH 2005).

BOİ₅: Su örnekleri 5 gün boyunca Hach marka BOI cihazına konulan su örnekleri soğurmalı inkibatörde 20 ± 1 °C’ de bekletilmiş sonrasında cihazdan okumalar yapılmıştır (HACH 2010).

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

Fekal koliform: Membran filtrasyon yöntemi ile belirlenmiştir (Eckner 1998).

Toplam N (TN): Kjeldahl yöntemine göre analiz edilerek hesaplama ile belirlenmiştir (Anonim 2015a).

Toplam P (TP): Fosfor ve fosfat (P, PO₄⁻³ve P₂O₅) analizleri HACH DR 5000 model spektrofotometrede HACH 8048 nolu PhosVer 3 (Ascorbic Acid) -(0.02- 2.50 mg/l PO₄⁻

³⁾ metodu ile PhosVer 3 phosphate Powder Pillow isimli fosfor reaktifi kullanılarak yapılmıştır (HACH 2010).

Bor: Karmin metoduna göre belirlenmiştir (Hatcher and Wilcox 1950).

Katyonlar, mikro elementler ve ağır metaller (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni): Su örnekleri Anonim (1996, 2007)'da belirtilen yöntemlere göre analize hazırlandıktan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazında okumalar yapılarak belirlenmiştir.

Yüzde sodyum (% Na): Aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (USSL 1954).

$$\%Na = \frac{Na}{Na+Mg+Ca+K} \times 100 \quad (3.11)$$

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR): Aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (USSL 1954).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (3.12)$$

Kalıcı Sodyum karbonat (RSC): Aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (USSL 1954).

$$RSC = (CO_3+HCO_3) - (Ca+Mg) \quad (3.13)$$

SAR, RSC ve % Na eşitliklerinde iyon konsantrasyonları me/l' dir.

Langelier Saturasyon İndeksi (LSI): Aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ayers and Westcot 1994).

$$LSI = pH_a - pH_c \quad (3.14)$$

pH_a ; gerçek pH değeri, pH_c; suyun kireç ile dengeye ulaştığındaki tepkimesidir. pH_c değeri Kanber vd (1992) göre belirlenmiştir.

3.2.11. İstatiksel Analiz

Denemede elde edilen veriler SPSS (Ver. 21) istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi BBAUM). Ölçülen parametrelerde farklı sulama uygulamalarına göre fark olup olmadığının belirlenmesinde one-way ANOVA varyans analizi kullanılmıştır. Verilerdeki farkların önemlilik düzeyi de Duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir (Duncan 1955; Açıköz 1993).

3.2.12. Ekonomik Analiz

Farklı büyüklüklerdeki (1 da, 10 da ve 100 da) alanlar dikkate alınarak silajlık mısır için, yüzey üstü ve yüzey altı damla ve karık sulamanın kurulum-işletme masrafları belirlenmiş, masraf ve net gelir kalemleri karşılaştırılarak sulama yöntemleri ve düzeylerine göre ekonomik değerlendirme yapılmıştır.

Üretim sonunda tek bir ürün varsa, basit maliyet hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Denemede sadece silajlık mısır üretildiği için maliyet hesabı yapılırken basit maliyet hesaplama yapılmıştır. Bu yaklaşıma göre, yapılan masrafların tümü sonuçta elde edilen ürün miktarına bölünmüştür (Kıral vd 1999).

Maliyet hesabı için öncelikle sulama sistem unsurları ve kurulum, yıllık bakım onarım, yıllık su kullanım ücreti ve sulama işçiliği masraf değerleri 2015 ve 2016 yıllarında piyasa araştırmalarından belirlenmiştir. Silajlık mısır tarımı yapılacak arazinin, çiftçinin kendi mülkü olacağı yaklaşımı yapılarak kira bedeli dikkate alınmamıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı sulama yöntemleriyle sulama koşullarında değişen seviyelerde uygulanan arıtılmış atık suyun ve temiz suyun özellikleri, sulama suyu miktarları ve bitki su tüketimleri, verim ve verim unsurları ile bazı fizyolojik özelliklerdeki değişimler, bitki ve toprak analiz sonuçları, sulama suyu kullanımı ve su kullanım etkinlikleri, su-verim ilişkileri ve ekonomik değerlendirme sonuçları verilmiş ve tartışılmıştır.

4.1. Sulama Sularının Özellikleri

Denemede kullanılan temiz su ve arıtılmış atık sudan 2015 ve 2016 yıllarında bitki büyüme mevsimi boyunca Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalarında alınan su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik (EC), katyon ve anyonlar, mikro element ve ağır metal içerikleri, toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC), Yüzde Sodyum (% Na), Langelier Saturasyon İndeksi (LSI) ve fekal koliform değerlerine ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2015 yılında denemede kullanılan sulama sularına ait analiz sonuçları

	Haziran	Temmuz	Ağustos		Eylül		
Parametreler	TS	TS	AS	TS	AS	TS	AS
pH	8,40	8,22	7,52	8,32	7,85	8,24	7,41
EC (dS/m)	0,374	0,406	1,052	0,415	1,021	0,404	0,967
Ca (me/l)	0,91	0,94	2,57	0,95	2,54	0,90	2,50
Mg (me/l)	1,42	1,51	3,08	1,46	3,23	1,60	3,20
Na (me/l)	0,86	0,90	4,72	0,90	4,34	0,88	4,17
K (me/l)	0,14	0,09	0,95	0,12	0,88	0,13	1,02
CO ₃ (me/l)	-	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ (me/l)	1,92	2,34	5,70	2,21	5,49	2,03	5,54
Cl (me/l)	0,42	0,44	1,90	0,38	1,85	0,37	1,76
SO ₄ (me/l)	0,65	0,61	1,47	0,58	1,39	0,55	1,50
B (mg/l)	-	0,04	0,39	0,06	0,41	-	0,33
Mn (mg/l)	0,007	0,011	0,056	0,008	0,048	0,004	0,050
Cu (mg/l)	-	-	0,012	-	0,011	-	0,010
Fe (mg/l)	0,052	0,060	0,372	0,048	0,454	0,055	0,351
Zn (mg/l)	-	-	0,013	-	0,012	-	0,010
Cr (mg/l)	-	-	0,002	-	0,002	-	-
Cd (mg/l)	-	-	0,001	-	0,002	-	0,002
Ni (mg/l)	-	-	0,027	-	0,031	-	0,019
Pb (mg/l)	-	-	0,004	-	0,007	-	0,008
TN (mg/l)	-	-	8,25	-	9,77	-	10,09
TP (mg/l)	-	-	0,68	-	1,01	-	0,80
AKM (mg/l)	-	-	26	-	28	-	24
KOİ (mg/l)	-	-	36,1	-	35,7	-	33,4
BOİ ₅ (mg/l)	-	-	21,7	-	20,9	-	20,1
SAR	0,80	0,81	2,81	0,82	2,56	0,79	2,47
RSC (me/l)	-	-	0,05	-	-	-	-
% Na	25,8	26,2	41,7	26,2	39,5	25,1	38,3
LSI	+0,22	+0,16	+0,30	+0,26	+0,54	+0,10	+0,12
Fekal koliform (EMS/100 ml)	-	-	145	-	176	-	162

TS: Temiz su, AS: Arıtılmış atık su, '-':Tespit edilemedi

Çizelge 4.2. 2016 yılında denemede kullanılan sulama sularına ait analiz sonuçları

	Haz.	Temmuz	Ağustos		Eylül		
Parametreler	TS	TS	AS	TS	AS	TS	AS
pH	8,15	8,24	7,90	8,39	7,15	8,30	7,66
EC (dS/m)	0,391	0,411	0,972	0,404	1,028	0,359	0,918
Ca (me/l)	0,94	1,01	2,48	0,95	2,69	0,83	2,45
Mg (me/l)	1,52	1,44	3,42	1,42	3,57	1,37	3,32
Na (me/l)	0,87	0,94	4,49	0,92	4,57	0,78	4,14
K (me/l)	0,15	0,13	1,14	0,16	1,05	0,12	1,08
CO ₃ (me/l)	-	-	-	-	-	-	-
HCO ₃ (me/l)	1,99	2,11	5,68	2,17	5,74	1,86	5,37
Cl (me/l)	0,36	0,35	1,99	0,41	2,03	0,48	1,92
SO ₄ (me/l)	0,70	0,64	1,78	0,67	1,69	0,62	1,55
B (mg/l)	-	-	0,35	-	0,27	-	0,44
Mn (mg/l)	0,010	0,008	0,057	0,005	0,074	0,004	0,064
Cu (mg/l)	-	-	0,013	-	0,016	-	0,011
Fe (mg/l)	0,042	0,051	0,484	0,072	0,473	0,058	0,451
Zn (mg/l)	-	-	0,007	-	0,009	-	0,011
Cr (mg/l)	-	-	0,004	-	0,002	-	0,002
Cd (mg/l)	-	-	0,001	-	0,002	-	0,001
Ni (mg/l)	-	-	0,025	-	0,027	-	0,027
Pb (mg/l)	-	-	0,005	-	0,005	-	0,006
TN (mg/l)	-	-	9,32	-	10,52	-	8,70
TP (mg/l)	-	-	1,24	-	1,16	-	0,93
AKM (mg/l)	-	-	25	-	34	-	27
KOİ (mg/l)	-	-	40,5	-	37,7	-	36,5
BOİ ₅ (mg/l)	-	-	25,8	-	22,6	-	21,8
SAR	0,78	0,85	2,61	0,85	2,58	0,74	2,44
RSC (me/l)	-	-	-	-	-	-	-
% Na	25,0	26,7	38,9	26,7	38,5	25,2	37,7
LSI	0,04	+0,14	+0,60	+0,30	-0,03	+0,11	+0,39
Fekal koliform (EMS/100 ml)	-	-	120	-	185	-	137

TS: Temiz su, AS: Arıtılmış atık su, '-':Tespit edilemedi

Çizelge 4.1 ve 4.2 incelendiğinde çalışmada kullanılan temiz suyun pH değerleri 8,15 – 8,40 arasında, arıtılmış atık suyun pH değerleri ise temiz suya göre daha düşük olup 7,15-

7,90 arasında değişmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Kıta içi su kaynakları sınıflandırmasına (Anonim 2008)' na göre kullanılan suların pH değerleri 6,50-8,50 arasında yer aldığından 1. sınıf sulardır (Çizelge 2.1).

Denemede kullanılan suların EC değerleri temiz suda 0,359 -0,415 dS/m, arıtılmış atık suda 0,918-1,052 dS/m arasındadır. “Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” (Anonim 2010)'ne göre denemede kullanılan temiz su 1. sınıf su, arıtılmış atık su ise 2. sınıf su kategorisinde yer almıştır (Çizelge 2.3). Mısır bitkisi tuzluluk açısından orta hassas bitki sınıfında (Ayers and Westcot 1989) olduğundan arıtılmış atık suyla ilgili tuzluluk problemi bulunmamaktadır.

Arıtılmış atık sularda toplam katyonlar temiz sudan belirgin bir şekilde yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.1 ve 4.2). Sularda bulunan katyonlar bitki beslenmesi açısından önemli olmasına rağmen, özellikle Ca + Mg konsantrasyonu yüksek olması ve pH'ında yüksek olması (>8,0), damla sulamada damlatıcıların tıkanma riskini artırmaktadır (Ayers and Westcot 1994). Denemede arıtılmış atık suyun pH'sının 8'in altında olması ve Çizelge 2.6'daki tuzluluk sınır değerleri de dikkate alındığında damla sulama sistemlerinde tıkanma riskini azaltmıştır (Ayers and Westcot 1994). Denemenin birinci yılında ağustos ayındaki atık suyun LSI değeri 0,54 ile ikinci yılındaki temmuz ayı atık suyu örneğindeki LSI değeri de 0,60 olarak tespit edilmiş olmasına rağmen kireç birikimi açısından düşük riskli olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca diğer LSI değerlerinin de daha düşük ve sıfıra yakın belirlenmiş olması herhangi bir aşındırma ve birikme olmayacağını göstermektedir (Rafferty 1999; Metcalf and Eddy 2003). Yine arıtılmış atık suların özellikle damla sulama sistemleriyle uygulanmasında önemli bir faktör de suyun içindeki askıda katı madde (AKM) miktarıdır. Kullanılan suların AKM miktarları 24-34 mg/l arasında değişim göstermiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010)'ne göre damla sulama sistemlerinde kullanılabilir sınır değer 50 mg/l' dir (Çizelge 2.6). Dolayısıyla, bu durum fiziksel bir tıkanma olmayacağı anlamına gelmektedir. Deneme süresince sulama sürelerinde değişikliklerin gözlemlenmemiş olması, damla sulama sistemlerinde tıkanma riski yaşanmadığını teyit etmiştir.

Sulardaki Na'nın diğer katyonlara göre oranının belirlenmesi Na'nın toprak yapısını bozucu etkisini değerlendirmede önemli olmaktadır. Bu göstergelerden % Na ve SAR'ın artırılmış atık sularda daha fazla olduğu görülmüş ancak sulamada kullanılabilir sınırlar içerisinde kaldığı anlaşılmıştır (Anonim 2010; Kanber ve Ünlü 2010). Toprakların fiziksel özelliklerindeki bozulmayı değerlendirmede diğer bir parametrede Kalıcı Soydum Karbonat (RSC) miktarıdır (Kanber ve Ünlü 2010). Suların RSC değeri en yüksek 0,05 me/l olup çok düşüktür. Eaton (1950), sulama sularında izin verilebilir RSC miktarının <2,5 me/l olduğunu bildirmiştir. Aynı zamanda toksik etkisi olan bir iyon olan sodyum temiz sularda içeriği 17,0-21,6 mg/l, artırılmış atık sularda 95,2-108,6 mg/l arasında değişmiştir. Bu değerlere göre temiz sular 1. sınıf olup zararı bulunmamakta, atık sular ise 2. sınıf sular grubuna girmesine rağmen kullanımında zarar derecesi az-ortadır (Anonim 2010).

Toksik etkisi olan bir diğer iyon'da Cl'dur. Temiz suların Cl içerikleri 12,4-17,0 mg/l artırılmış atık suların Cl içerikleri 62,5-72,1 mg/l arasında değişmiş, Anonim (2010)'a göre hem temiz su hemde artırılmış atık su 1. sınıf su sınıfına girmiştir. Ayrıca Scofield 1936 yöntemi 4 me/l altında klor içeriği olan suları çok iyi, Doneen 1954 yöntemi 5 me/l altında klor içeriği olan suları çok iyi-iyi, Christiansen 1977 yöntemi de 3 me/l altında klor içeriği olan suları 1. sınıf sular olarak değerlendirilmektedir (Kanber ve Ünlü 2010).

Bor'da toksik etkisi olan özel bir iyondur. Suların Bor içerikleri 0,04-0,44 mg/l arasında değişmiştir. Toksik etki açısından her iki yıl verileri de Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010)'ne göre kullanılmasında sakınca olmayan sular sınıfındadır. Yine aynı şekilde Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 1985) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA 2004) sulama suyu kullanım değerlerine göre Bor içeriği 0,75 mg/l'den düşük ise kullanılacak olan su uzun süreli uygulansa dahi sorun yaratmayacaktır. Güngör vd (2012)'de, sulama sularındaki bor içeriğinin bor konsantrasyonuna orta duyarlı mısır bitkisi için toksik etki miktarını 0,67 ppm olarak bildirmiştir.

Temiz suyun K içeriği 0,09-0,16 me/l aralığında değişirken, arıtılmış atık suyun K içeriği (0,88- 1,14 me/l) temiz suya kıyasla daha yüksek belirlenmiştir. SO_4 içerikleri 0,55-1,78 me/l arasında değişmektedir. Kanber and Ünlü (2010), Scofield 1936 yöntemine göre sulama suyunda SO_4 içeriği <4 me/l ise sulama suyu sınıfının çok iyi olduğunu ve kullanılması durumunda sorun oluşturmayacağını belirtmişlerdir. Ancak kullanılan arıtılmış atık suyun HCO_3 konsantrasyonları FAO sistemine göre bitkilerde sorun oluşabileceğine işaret etmektedir.

Arıtılmış atık suların Mn içerikleri 0,048- 0,074 mg/l; Fe içerikleri 0,351-0,484 mg/l; Cu içerikleri 0,010-0,016 mg/l; Zn içerikleri 0,007-0,013 mg/l; Cr içerikleri 0,002-0,004 mg/l; Cd içerikleri 0,001- 0,002 mg/l; Ni içerikleri 0,019- 0,031 mg/l ve Pb içerikleri 0,004-0,008 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Belirlenen değerleri Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA 2004) sınır değerlerinin altında kaldığından sulamada kullanılmasında sakınca bulunmamaktadır.

Atık suların besleyici özelliklerinin başında azot ve fosfor gelmektedir. Arıtılmış atık suların toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) içerikleri sırasıyla 8,3-10,5 mg/l ve 0,68-1,24 mg/l olarak belirlenmiş olup, Çizelge 2.1'deki sınıflandırmaya göre IV. sınıf sulardır (Anonim 2008).

Arıtılmış atık sularda Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Biyolojik Oksijen ihtiyacı (BOI_5) içerikleri sırasıyla 34,4-40,5 mg/l ve 20,1-25,8 mg/l olarak belirlenmiştir. Çizelge 2.1'de verilen sınır değerler dikkate alındığında KOİ değerleri bakımından II. sular sınıfında, BOI_5 değerleri açısından ise IV. sular sınıfında yer almaktadır (Anonim 2008).

Arıtılmış atık suların sulamada kullanılmasında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerinden biri de suyun mikrobiyolojik özelliğidir. Ticari olarak işlenen gıda ürünleri ve meralarda kullanılan suları için mikrobiyolojik sınır değeri 200 EMS/100 ml'dir. Arıtılmış atık suyun fekal koliform miktarı 120-185 EMS/100 ml arasında

belirlenmiştir. Kıta içi su kaynakları sınıflandırılması (Anonim 2008)' na göre arıtılmış atık su 2. sınıf olup kullanımında sıkıntı bulunmamaktadır. Yine Dünya Sağlık Örgütü'nün arıtılmış atık su için sınır değeri olarak belirlediği 1000 EMS/100 ml' yi de aşmadığı tespit edilmiştir (WHO 1989; EPA 2004).

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki veriler genel olarak değerlendirildiğinde birinci ve ikinci yıl analiz sonuçları ile aynı yıl içerisinde dönemlere göre analiz sonuçları arasında önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir. Yine Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010), Kıta içi su kaynakları sınıflandırması (Anonim 2008)'e ve uluslararası diğer ölçütlere göre değerlendirilmiş ve arıtılmış atık suların sulamada kullanımında genel anlamda bir sıkıntı bulunmadığı anlaşılmıştır.

4.2. Sulama Suyu Miktarları

Bitkinin büyüme mevsimi boyunca konulara uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları Çizelge 4.3 ile Çizelge 4.4' de verilmiştir. Çalışmada temiz su ve arıtılmış atık su konularına eşit miktarlarda sulama suyu uygulanmıştır.

Çizelge 4.3. 2015 yılında uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm)

Sulama yöntemi	Sulama seviyesi	Haziran	Temmuz*	Ağustos	Eylül	Toplam
YA	K0	26,3	122,9	88,5	68,3	305,9
	K1	26,3	103,7	58,4	45,1	233,4
	K2	26,3	85,0	29,2	22,5	163,0
YÜ	K0	26,3	139,9	127,7	92,3	386,2
	K1	26,3	114,9	84,3	60,9	286,4
	K2	26,3	90,6	42,2	30,5	189,5
GS	K0	26,3	201,8	225,1	155,1	591,2
	K1	26,3	144,5	148,6	102,4	421,7
	K2	26,3	105,4	74,3	51,2	257,2

*Temmuz ayı sulamasının 66,4 mm'si tüm parsellere temiz su olarak eşit miktarda uygulanmıştır.

YA: yüzey altı damla sulama yöntemi; YÜ: yüzey üstü damla sulama yöntemi; GS: geleneksel karık sulama yöntemi; K0: Tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama

Çizelge 4.4. 2016 yılında uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm)

Sulama yöntemi	Sulama seviyesi	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
YA	K0	55	80,4	99,4	54,9	289,8
	K1	55	53,1	65,6	36,3	209,9
	K2	55	26,5	32,8	18,1	132,5
YÜ	K0	55	106,8	134,0	69,2	365,0
	K1	55	70,5	88,4	45,7	259,6
	K2	55	35,3	44,2	22,8	157,3
GS	K0	55	178,6	228,1	115,3	577,0
	K1	55	117,9	150,6	76,1	399,5
	K2	55	59,0	75,3	38,0	227,3

YA: yüzey altı damla sulama yöntemi; YÜ: yüzey üstü damla sulama yöntemi; GS: geleneksel karık sulama yöntemi; K0: Tam sulama; K1: %33 kısıtlı sulama; K2: %67 kısıtlı sulama

Her iki deneme yılında tohum ekimi sonrası homojen bir çıkışı sağlamak amacıyla planlı sulamalara kadar yağmurlama sulama yöntemi ile sulama yapılmıştır. Bu amaçla 2015 ve 2016 yıllarında planlı sulamalara kadar sırasıyla 92,7 mm ve 55,0 mm temiz su bütün parsellere eşit miktarlarda uygulanmıştır. Denemenin ikinci yılında birinci yıla oranla YA yönteminde % 5,6-23,0, YÜ yönteminde % 5,8-20,5 ve GS yönteminde % 2,5- 13,2 arasında değişen oranlarda daha az sulama suyu uygulanmıştır. Çizelge 3.1’de görüleceği üzere 2. yılda hava sıcaklıklarının daha düşük seyretmesi daha az sulama suyu uygulamasının nedeni olabilir. Planlı sulamalara denemenin birinci yılında 15 temmuz, ikinci yılında 4 temmuz tarihinde başlanmış olup hasada kadar devam edilmiştir. Denemenin birinci yılında toplam 14, ikinci yılında 13 sulama yapılmış, her iki yılda da 10’ar defa planlı sulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın her iki yılında da sulama aralığı 7-9 gün arasında değişmiş, en kısa sulama aralıkları sıcaklığın yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşmiştir.

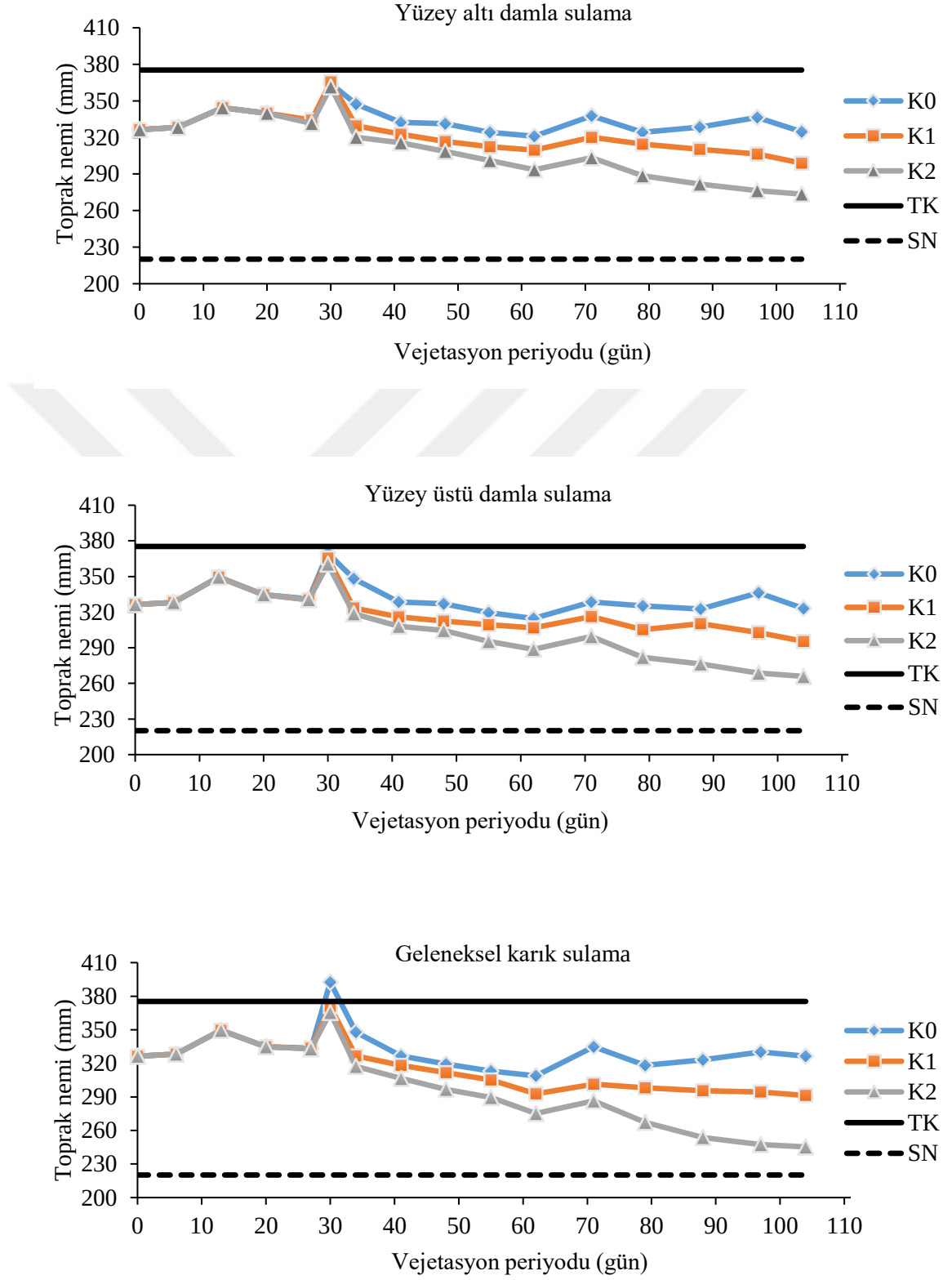
Tam sulama konusuna (K0) uygulanan su miktarlarına göre, YA sulama yönteminde, YÜ sulama yöntemine göre her iki yılda da yaklaşık % 21, GS sulama yöntemine göre de 2015 yılında yaklaşık % 48, 2016 yılında yaklaşık % 50 daha az su uygulanmıştır. YÜ sulama yönteminde de, GS sulama yöntemine göre 2015 yılında yaklaşık % 35, 2016

yılında ise yaklaşık % 37 daha az sulama suyu uygulanmıştır. YA ve YÜ sulama yöntemlerinde daha az su uygulanmasının sebebi ıslatma oranının 1'den düşük seçilmesidir. Birçok araştırmacı da damla sulama yönteminde uygulanan sulama suyu miktarının karık sulama yöntemine göre daha az olduğunu belirtmiştir (Köksal 2000; Orta vd 2000; İbragimov *et al.* 2007; Kesmez 2009; Okursoy 2009; Ghamarnia and Sepehri 2010).

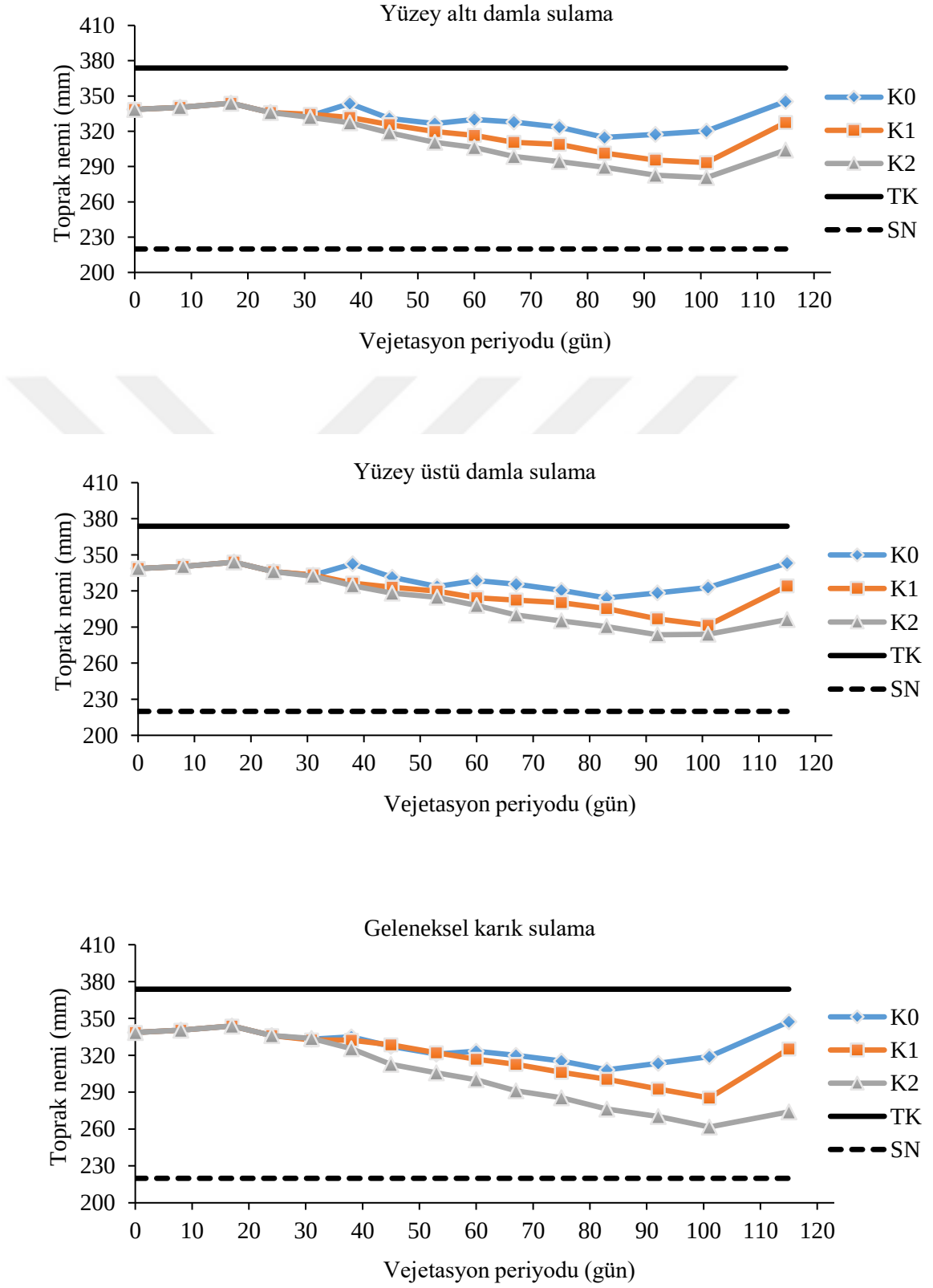
4.3. Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler

Şekil 4.1-4.4'deki toprak nem içeriğindeki değişimlerin sezonluk trendi incelendiğinde sulama öncesi toprak nemlerinin tarla kapasitesi ile devamlı solma noktası arasında kaldığı, artan su kısıtına bağlı olarak devamlı solma noktasına daha fazla yaklaştığı görülmektedir. 2015 yılında GS yönteminde yağıştan kaynaklı tarla kapasitesi aşılmış, YA ve YÜ sulamalarında ise tarla kapasitesine oldukça yaklaşılmış olması 2015 yılı yağış trendinin bir sonucu olmuştur (Şekil 3.3). Benzer şekilde 2016 yılı yağış trendine bağlı olarak sezon sonu nem içeriklerinde artışlar gözlenmiştir. YA ve YÜ yöntemlerinde hem temiz hem de arıtılmış atık suyun uygulandığı koşullarda 2015 ve 2016 yıllarının her ikisinde de toprak nem değişim trendi birbirine oldukça benzerlik gösterirken, GS'deki değişim biraz farklılaşmıştır. Ayrıca 2016 yılı yağışa bağlı artış hariç nem içeriği sezon sonuna kadar azalış göstermiş bu azalışlar tüm uygulamaların kısıt konularında daha belirgin gözlenmiştir.

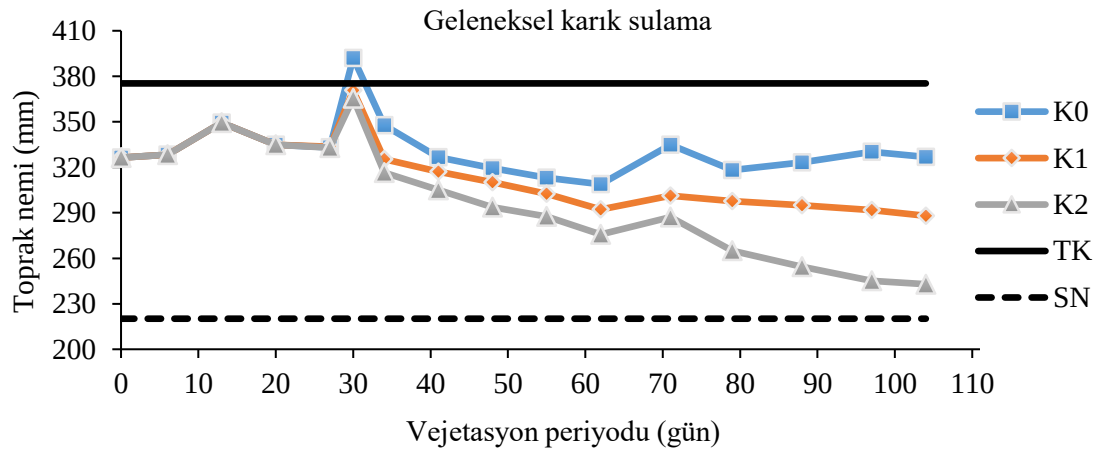
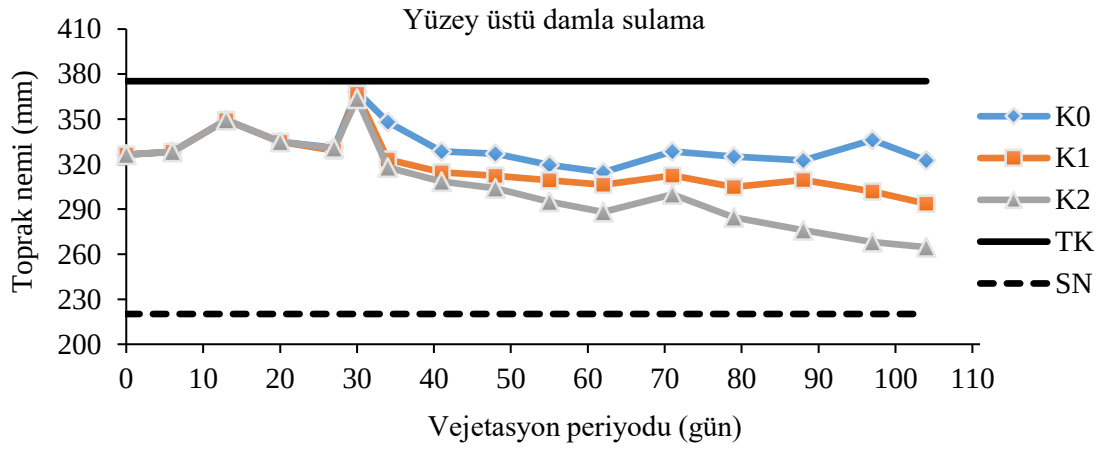
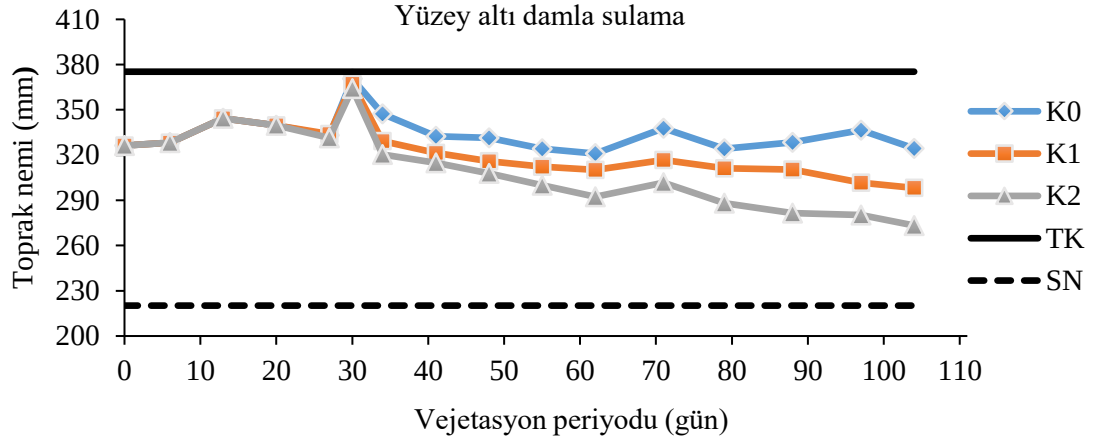
Sulamasız konunun sezonluk toprak nem içeriği değişimi incelendiğinde 2015 yılında yağışların daha fazla olması sebebiyle devamlı solma noktasına altına düşmemiş iken 2016 yılında yağışın az olmasıyla (Şekil 3.3) devamlı solma noktası altına inmiştir (Şekil 4.5).



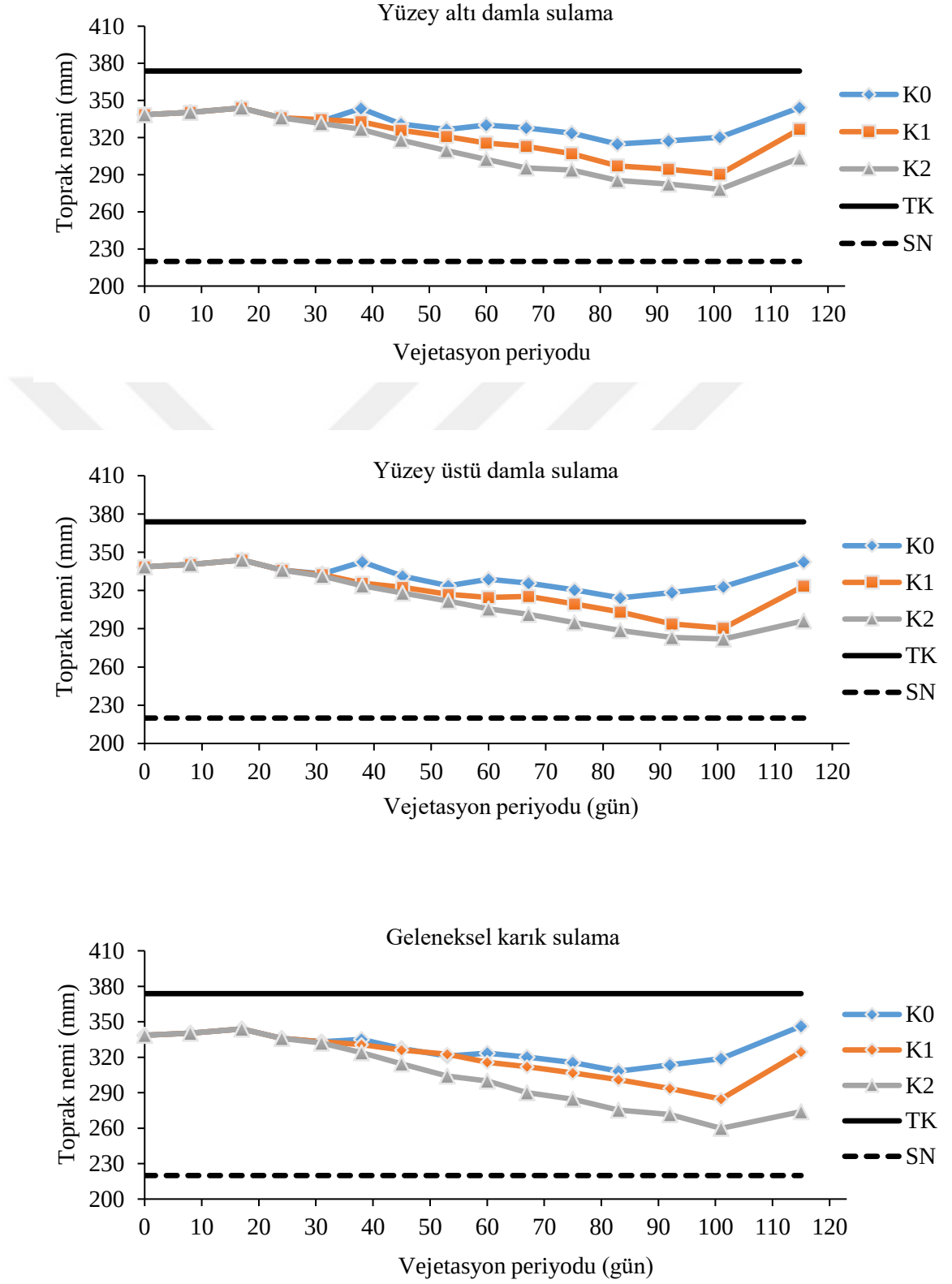
Şekil 4.1. Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2015 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri



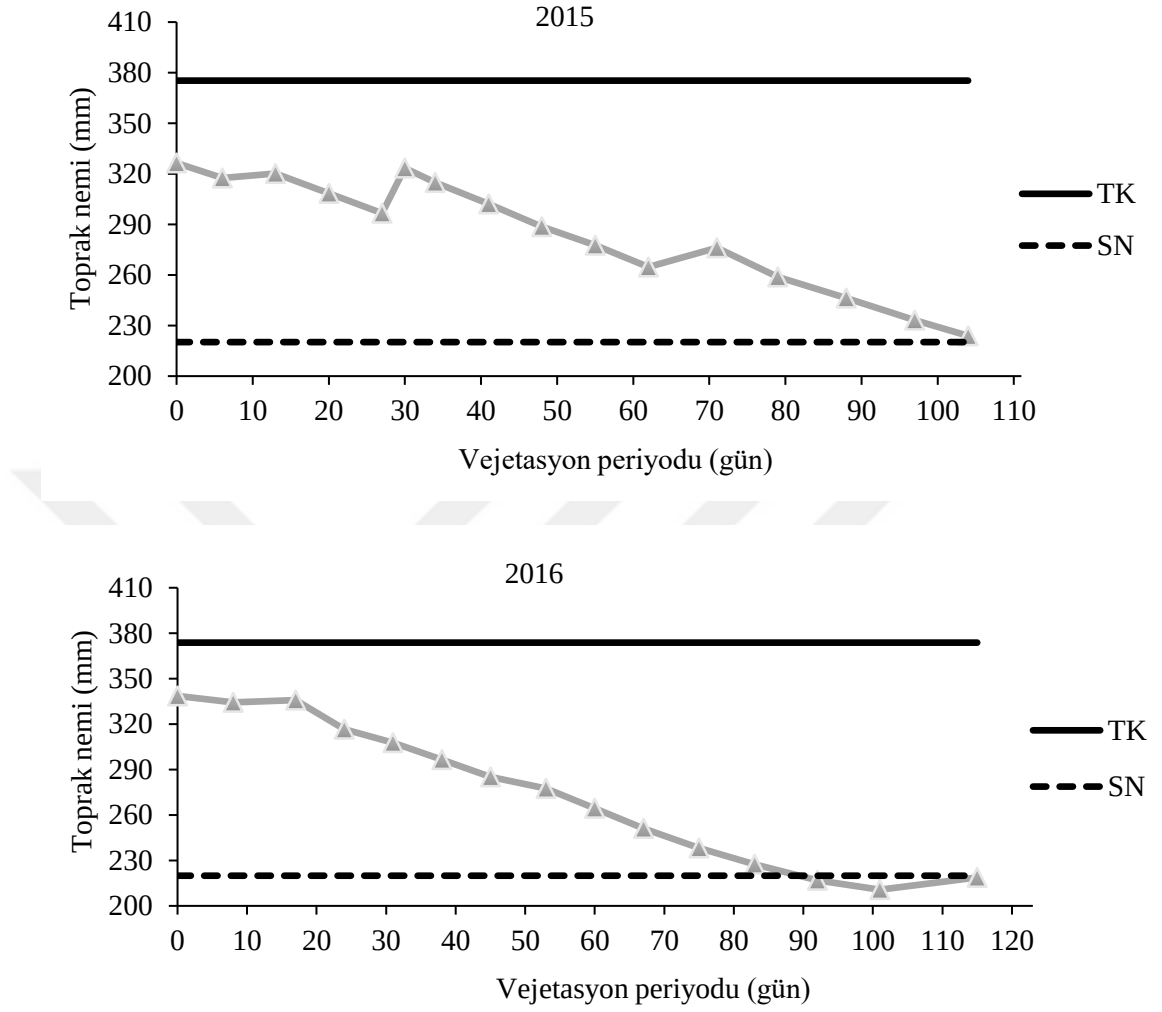
Şekil 4.2. Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2016 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri



Şekil 4.3. Temiz suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2015 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri



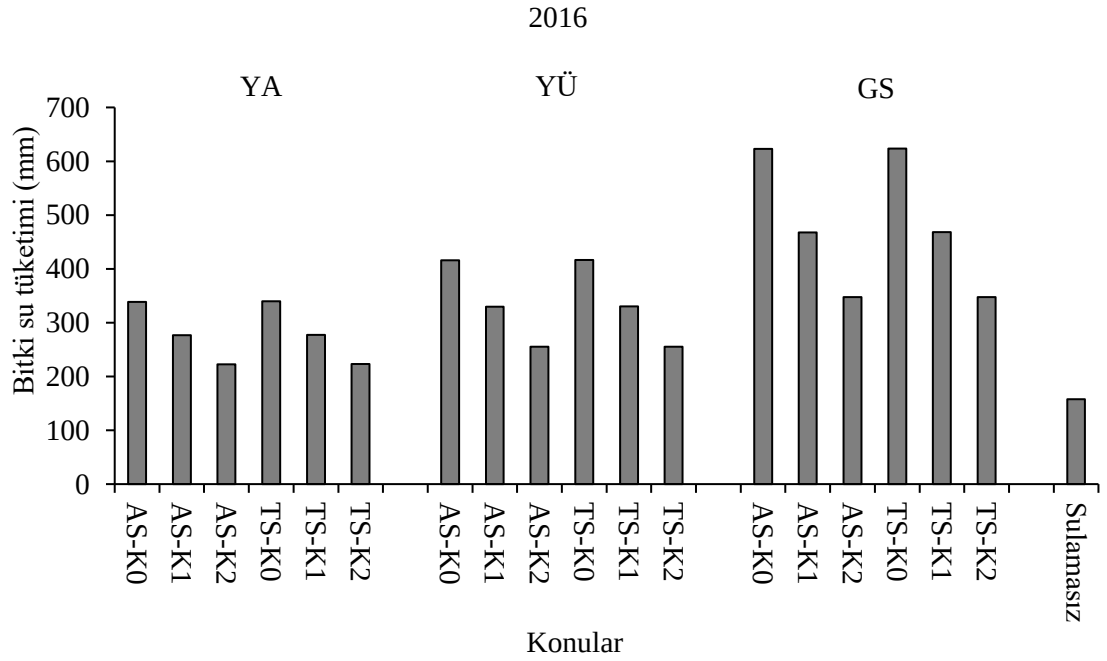
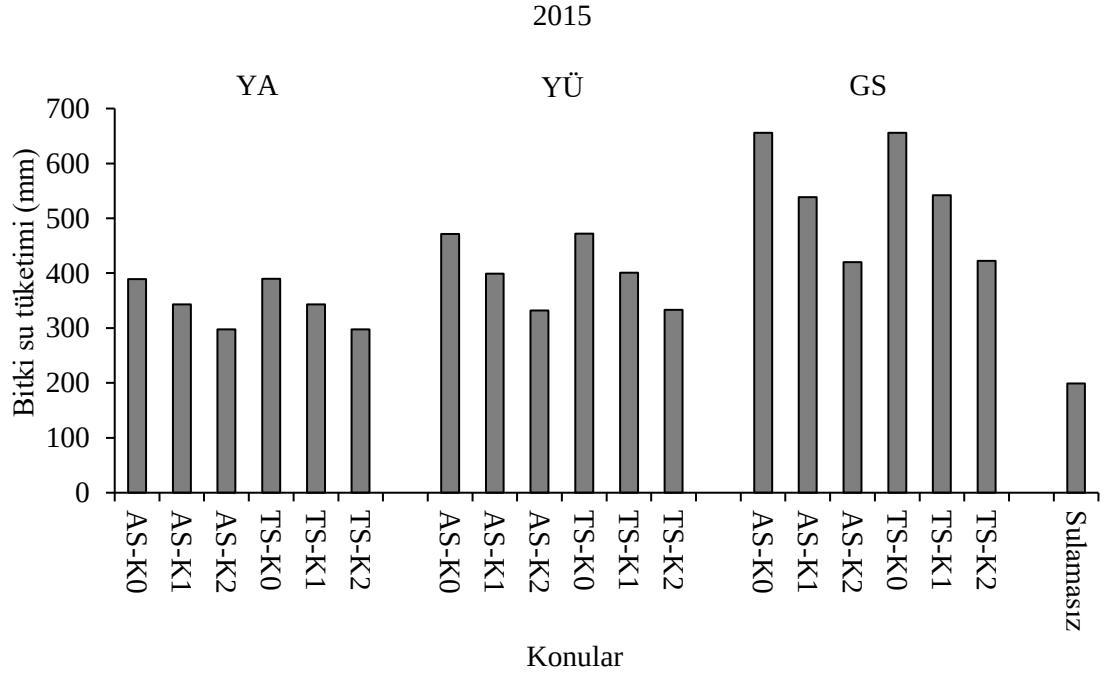
Şekil 4.4. Temiz suyla sulama koşullarında farklı sulama düzeylerinde 2016 yılı sulama öncesi toprak nem değişimleri



Şekil 4.5. Sulamasız koşulda 2015 ve 2016 yılı toprak nem değişimleri

4.4. Mevsimlik Bitki Su Tüketim Değerleri

Farklı su kaliteleri ve sulama seviyelerinde su bütçesi eşitliğiyle hesaplanmış olan mevsimlik bitki su tüketim değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: artırılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama

Şekil 4.6. 2015 ve 2016 yılı mevsimlik bitki su tüketim değerleri

Şekil 4.6 incelendiğinde 2015 yılı bitki su tüketim değerleri YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde sırasıyla 297,9 -389,7 mm, 331,8-472,0 mm ve 420,1-655,9 mm, 2016 yılında ise 222,4-339,6 mm, 255,1-416,6 mm ve 347,3-623,7 mm arasında değişmiştir. 2016 yılında bitki su tüketimleri 2015 yılına kıyasla % 4,2-24,1 arasında azalma göstermiştir. Bu azalma 2016 yılında sulama ve yağış miktarlarının daha düşük olmasıyla açıklanabilir. Aynı zamanda 2016 yılında bir miktar yağışın sezon sonunda düşmüş olması da etkili yağış miktarının daha da azalmasını sağlamıştır (Şekil 3.3). Her sulama yönteminde artırılmış atık su ve temiz su konularında su tüketim sonuçları sulama öncesi toprak nem değişim trendi benzerliğinin bir sonucu olarak her iki yılda da birbirine oldukça yakındır ve en düşük su tüketim değerleri yüzey altı damla sulamada belirlenmiştir (Şekil 4.1-4.4). Bu durumun özellikle buharlaşma kayıplarının önemli derecede azalmış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

K0 konusu dikkate alındığında, su kalitelerinin ortalaması bazında YA sulama YÜ ve GS sulamalarından 2015 yılında sırasıyla, % 17,4 ve 40,6, 2016 yılında da % 18,5 ve 45,6 kadar daha düşük su tüketimine neden olmuştur. K1 konusunda YA sulama YÜ ve GS sulamalarından 2015 yılında sırasıyla, % 14,3 ve 36,9, 2016 yılında da % 16,0 ve 40,9, K2 konusunda ise YA sulama YÜ ve GS sulamalarından 2015 yılında sırasıyla, % 10,4 ve 29,2, 2016 yılında da % 12,7 ve 35,9 kadar daha düşük su tüketimi sağlamıştır. Bu sonuçlar YA sulama yönteminin GS yöntemine göre yaklaşık olarak % 33'ten % 43'e kadar bir azalma sağlayabileceğini göstermiştir.

Geçmiş yıllarda farklı yörelerde ve farklı uygulamalar altında yürütülen çok sayıda çalışmada silajlık mısırın su tüketiminin 134-737 mm arasında değiştiği belirlenmiştir (Pamuk 2003; Humphreys *et al.* 2005; Dağdelen vd 2006; Arıtürk 2008; Kiziloglu *et al.* 2008; Okursoy 2009; Gürbüz vd 2010). Dolayısıyla mısırın yetiştirildiği coğrafi bölge, ana veya ikinci ürün olarak yetiştirilmesi, iklim ve toprak koşullarındaki farklılık ve en önemlisi de uygulanmış olan sulama programı ile sulama yöntemi farklılıkları, su tüketiminin geniş bir aralıkta değişmesine neden olmuştur.

4.5. Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Değerleri

4.5.1. Bitki boyu

Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama ile geleneksel karık sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında bitki boylarındaki değişimler Çizelge 4.5’de, varyans analiz sonuçları da EK 1’de verilmiştir.

İki yıllık ortalama sonuçlarına göre YA ve YÜ yöntemlerinde AS uygulamaları bitki boyunu önemli ($p<0,01$) derecede artırırken GS yönteminde farklı etki gözlemlenmiştir. Sulama miktarlarındaki azalış ise tüm sulama yöntemlerinde bitki boyunu önemli derecede ($p<0,01$) azaltmıştır (Çizelge 4.5). Su kısıtının bitki gelişimi üzerine negatif etkilerine bağlı olarak su kısıtıyla bitki boyunda azalma birçok çalışmada da belirlenmiştir (Kang *et al.* 2000; Bozkurt vd. 2006; Vural ve Dağdelen 2008; Simsek *et al.* 2011; Ertek and Kara 2013; Karasu *et al.* 2015).

Geçmişte atık suyla yapılan çalışmalar bitki boyu artışını desteklemektedir (Khan *et al.* 2009; Balkhair 2016; Ali *et al.* 2017; Al-Khamisi *et al.* 2017). AS uygulamalarında bitki boyunun yüksek bulunmasının temel sebebinin bitki gelişimi için gerekli olan besin elementlerinin arıtılmış atık suda yüksek oranlarda bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Selim 2008). Atık suyla sulama koşullarında artış suyun özellikle azottan kaynaklanan besleyici etkisinin bir sonucu olabilir (Çizelge 4.1 ve 4.2).

Sulama yöntemleri arasında da en fazla bitki boyu YA yönteminde, en düşük ise GS yönteminde belirlenmiştir. Asgari *et al.* (2007), arıtılmış atık suyun YA sulama yöntemi uygulanmasıyla temiz suya göre mısır bitkisinin boyunun arttığını bildirmiştir. Atık suyun besleyici özelliğinin bitki boyuna etkisi özellikle 2016 yılında YA sulama yöntemiyle tam sulanan konuda belirgin olarak görülmüştür. Damla sulama yöntemlerinde özellikle YA yönteminde suyu doğrudan kök bölgesine verilmesi toprak nem potansiyelini düşürerek gelişimi artırmış olabilir (Şekil 4.1-4.4).

Çizelge 4.5. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) bitki boyuna (cm) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	216,1	213,9	215,0 A**	214,7	212,3	213,5 A**	206,9	201,4	204,1 A**
	K1	195,0	189,2	192,1 B	196,3	182,2	189,3 B	185,8	176,6	181,2 B
	K2	151,9	150,2	151,1 C	143,3	133,2	138,3 C	122,9	128,3	125,6 C
	Ort.	187,7	184,4		184,8 A*	175,9 B		171,9	168,8	
2016	K0	248,9 a*	221,6 b	235,3 A**	227,9	217,1	222,5 A**	220,1	216,1	218,1 A**
	K1	210,4 c	196,0 d	203,2 B	205,9	196,0	200,9 B	193,3	187,8	190,5 B
	K2	164,8 e	155,2 f	160,0 C	169,1	160,9	165,0 C	140,5	148,7	144,6 C
	Ort.	208,0 A**	190,9 B		201,0 A**	191,3 B		186,6	184,7	
2015-2016	K0	232,5	217,8	225,1 A**	221,3	214,7	218,0 A**	213,5	208,7	211,1 A**
	K1	202,7	192,6	197,6 B	201,1	189,1	195,1 B	189,5	182,2	185,9 B
	K2	158,4	152,7	155,5 C	156,2	147,1	151,6 C	131,7	138,5	135,1 C
	Ort.	197,8 A**	187,7 B		192,9 A**	183,6 B		178,3	176,5	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.2. Gövde apı

YA, Y ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında gövde çaplarındaki değişimler izelge 4.6' da, varyans analiz sonuçları da EK 2'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. incelendiğinde, tüm sulama yöntemlerinde su kalitesinin gövde çapına etkisi önemsiz olurken, sulama seviyelerinin gövde çapına etkisi tüm yöntemlerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Su kısıtı artışıyla gövde çapı azalmıştır. Atçeken (2010), silajlık mısırdaki uygulanan su miktarının artışına paralel olarak gövde apınında arttığını belirtmiştir.

Denemenin her iki yılında da en yüksek gövde apı GS sulama yönteminde en düşük ise YA sulama yönteminde tespit edilmiştir. Ancak her bir sulama yönteminde bitki boyu ile gövde çapı arasında pozitif doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Ek 26-31).

Çizelge 4.6. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) gövde çapına (mm) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	20,6	22,9	21,7	22,3	20,9	21,6	23,0	23,8	23,4 A**
	K1	21,4	21,3	21,4	20,5	22,4	21,5	21,7	21,4	21,5 B
	K2	19,1	19,3	19,2	20,9	21,9	21,4	20,3	20,0	20,2 C
	Ort.	20,4	21,2		21,2	21,8		21,7	21,8	
2016	K0	22,2	21,0	21,6 A**	24,3	21,9	23,1 A**	25,1	24,2	24,7 A**
	K1	19,9	20,2	20,0 B	22,8	21,5	22,1 B	23,9	23,6	23,8 B
	K2	17,9	17,8	17,9 C	18,6	18,7	18,6 C	19,9	19,9	19,9 C
	Ort.	20,0	19,7		21,9	20,7		23,0	22,6	
2015-2016	K0	21,4	21,9	21,7 A*	23,3	21,4	23,4 A*	24,1	24,0	24,1 A**
	K1	20,7	20,7	20,7 B	21,7	21,9	21,8 B	22,8	22,5	22,7 B
	K2	18,5	18,5	18,5 C	19,7	20,3	20,0 C	20,1	19,9	20,0 C
	Ort.	20,2	20,4		21,6	21,2		22,3	22,2	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.3. Silajlık ot verimi

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında silajlık ot verimlerindeki değişimler Çizelge 4.7' de, varyans analiz sonuçları da EK 3'de verilmiştir.

Sulama suyu seviyesinin tüm yöntemlerde silajlık ot verimine etkisi önemli bulunmuştur. Tam sulama uygulaması en yüksek verimi sağlamıştır. AS uygulamalarında daha yüksek verimler alınmıştır.

İki yıllık ortalamalar bazında YA sulama yönteminde TS uygulamalarında AS uygulamalarıyla kıyaslandığında K0 ve K1 konularında sırasıyla % 6,6, % 9,5 daha düşük verim alınmış, K2 konusunda ise %15,3 daha yüksek verim alınmıştır. YÜ sulama yönteminde K0, K1 ve K2 konularında azalış oranları sırasıyla % 8,5, % 7,5 ve % 3,9, GS sulama yönteminde de K0 ve K1 konularında sırasıyla % 4,2, % 6,3 verim azalmış, K2 konusunda ise % 13,5 verim artışı belirlenmiştir.

YA sulama yöntemi en yüksek silajlık ot verimleri sağlamıştır. AS uygulandığı koşullarda K0 ve K1 uygulamalarında YA sulama yöntemi YÜ sulama yöntemine göre sırasıyla % 5 ve % 1,5 verim artışı, K2 konusunda ise % 7 verim düşüşü, GS sulama yöntemine göre de K0, K1 ve K2 konularında sırasıyla % 12,9, % 13,9 ve % 1,5 artışlar sağlamıştır. TS uygulama koşullarında YA yöntemi K0 ve K2 konularında YÜ sulama yöntemine göre sırasıyla % 7,1 ve % 12,2 artış, K1 konusunda % 0,7 azalış göstermiştir. GS sulama yöntemine göre ise K0, K1 ve K2 konularında sırasıyla % 10, % 10 ve % 3,1 artış sağlamıştır. YA yönteminde silajlık ot veriminin yüksek çıkmasının temel sebebinin uygulanan suyun direkt olarak bitki kök bölgesine ulaştırılması, bitkinin kök bölgesinde iyi bir çözücü olan suyun sürekli bulundurulması ve besin elementlerinin nemli ortamlarda bitkiye geçişinin kolay olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Pablo *et al.* (2007), Enciso- Medina *et al.* (2011) ve Asgari and Cornelis (2015) yaptıkları çalışmalarda YA sulama yönteminde kök bölgesindeki suyun daha elverişli kullanıldığını belirtmişlerdir.

AS uygulanan konuların silajlık ot verimlerinin TS uygulamalarına göre yüksek bulunmasının sebebi arıtılmış atık suyun besin elementlerini fazlaca içermesidir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Selim (2006) ve Becerra-Castro *et al.* (2015), atık suların gübre kaynağı olarak besin elementi katkısı olduğunu belirtmişlerdir. Yine aynı şekilde Asgari *et al.* (2007), Kiziloglu *et al.* (2007), Mousavi and Shahsavari (2014), Tunc and Sahin (2015) ve Al-Khamisi *et al.* (2017) yaptıkları çalışmalarda atık suyun sulamada kullanımının bitkilerin verimlerini arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca deneme topraklarının organik madde, toplam N ve bitki için gerekli olan besin elementlerin temiz suyla sulanan topraklara kıyasla atık suyla sulananlarda daha yüksek bulunması, daha fazla verim alınmasını sağlamıştır (Çizelge 4.32, 4.40, 4.41).

Su kısıtının verim azalışına etkisini ortaya koyan birçok çalışma yürütülmüştür. Vural (2007) ve Ucak vd (2013) mısır bitkisinde yapmış oldukları çalışmalarda sulama seviyesinin verim üzerindeki etkisini önemli ($p<0,01$) bulduklarını belirtmişlerdir. Değişen düzeylerde su uygulamasının silajlık ot verimi üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, artan sulama miktarlarına bağlı olarak Arıtürk (2008) 2492 -9896 kg/da; Okursay (2009) 1171,70-8047,43 kg/da; Orta (2009) 1559,7-8255,3 kg/da; Atçeken (2010) 6397,21-8776,02 kg/da verim elde etmişlerdir.

Denemede uygulanan her iki kalitedeki sulama suyu seviyeleri ile silajlık ot verimleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde tüm yöntemlerde bitki su tüketimleri veya sulama miktarı azalışıyla verim azalışları arasında önemli pozitif doğrusal korelasyonlar olduğu anlaşılmaktadır (Ek 26-31). Mengi and Özgürel (2008), mısırdaki su verim ilişkilerini inceledikleri çalışmada sulama suyu ile verim arasındaki R^2 değerini denemenin birinci yılında 0,96 ikinci yılında 0,99 bulduklarını bildirmişlerdir.

Ayrıca bitki gelişimine bağlı olarak verimin önemli derecede değiştiğinde ilişkilendirilebilir. Tüm yöntemlerde bitki boyu ve gövde çapları ile verim arasında belirlenmiş olan önemli doğrusal ilişkiler bu yaklaşımı desteklemektedir (Ek 26-31). Yine silajlık ot verimi ile bitki fizyolojik ölçüm değerleri (yaprak alan indeksi, SPAD, membran zararlanma indeksi ve yaprak oransal su içeriği) arasında önemli doğrusal

ilişkiler belirlenmiştir (Ek 26-31). Çamoğlu vd (2011), su stresi altında mısırın fizyolojik ve morfolojik özelliklerini (yaprak alan indeksi, yaprak su içeriği, klorofil okuması, kuru madde verimi ve verim) inceledikleri çalışmada parametreler arasında yüksek pozitif korelasyon bulduklarını belirtmişlerdir. Karasu *et al.* (2015), su seviyelerinin mısırın verim ve kalite parametrelerine etkisini araştırdıkları çalışmada parametreler arasında pozitif korelasyon elde etmiş, özellikle bitki boyu ile verim arasında en yüksek korelasyon katsayısını belirlemişlerdir.



Çizelge 4.7. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) silajlık ot verimine (kg/da) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	7452,3 a**	7003,7 b	7228,0 A**	7093,2 a*	6614,6 b	6853,9 A**	6610,1 a**	6418,4 b	6541,3 A**
	K1	5911,8 c	5260,8 d	5586,3 B	5875,6 c	5556,3 d	5715,9 B	5282,0 c	4816,2 d	5049,1 B
	K2	2644,2 e	2831,7 e	2737,9 C	2775,5 e	2641,8 e	2708,7 C	2508,4 f	3014,8 e	2761,6 C
	Ort.	5336,1 A**	5032,0 B		5248,1 A**	4937,6 B		4800,2	4749,8	
2016	K0	8058,7 a**	7476,4 b	7767,6 A**	7676,2 a**	6889,7 b	7287,9 A**	7134,0 a*	6743,8 b	6938,9 A**
	K1	6461,1 c	5935,2 d	6198,2 B	6312,4 c	5715,2 d	6013,8 B	5582,9 c	5366,7 c	5474,8 B
	K2	2263,5 f	2826,5 e	2545,0 C	2474,9 e	2401,3 e	2438,1 C	2327,6 d	2475,2 d	2401,4 C
	Ort.	5594,4 A*	5412,7 B		5487,8 A**	5005,4 B		5014,8 A*	4861,9 B	
2015-2016	K0	7755,5 a**	7240,1 b	7497,8 A**	7384,7 a**	6757,1 b	7070,9 A**	6872,0 a**	6581,1 b	6726,6 A**
	K1	6186,5 c	5598,0 d	5892,2 B	6094,0 c	5635,7 d	5864,9 B	5432,4 c	5091,4 d	5261,9 B
	K2	2453,8 f	2829,1 e	2641,5 C	2625,2 e	2521,6 e	2573,4 C	2418,0 f	2745,0 e	2581,5 C
	Ort.	5465,3 A**	5222,4 B		5368,0 A**	4971,5 B		4907,5 A*	4805,9 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.4. Kuru madde verimi

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında kuru madde verimlerindeki değişimler Çizelge 4.8' de, varyans analiz sonuçları da EK 4'de verilmiştir.

Kuru madde verimindeki değişimler silajlık ot verimindeki değişimlere benzer trend göstermiş, aralarında yüksek seviyede pozitif ilişkiler bulunmuştur (Ek 26-31). Tüm sulama yöntemlerinde su kısıtı koşullarında silajlık verim azalışına bağlı olarak daha düşük kuru madde verimleri belirlenmiştir. Tüm yöntemlerde bitki su tüketimleri ve sulama miktarıyla kuru madde verimi arasında değişimler pozitif doğrusal olarak gerçekleşmiştir (Ek 26-31). Bouazzama *et al.* (2012), silajlık mısırdaki yaptıkları çalışmada, su kısıtının bitki büyümesini etkilediğini, yaprakların yaşlanmasını hızlandığını, yaprak alan indeksini azalttığını, kuru madde verimlerinin de düştüğünü bildirmişlerdir. Gezer (2012) ve Aydınşakir *et al.* (2013) silajlık mısırdaki yaptıkları çalışmalarda su kısıtı uygulaması ile kuru madde verimlerinde düşüşler olduğunu bildirmişlerdir. Howell *et al.* (1995), uygulanan sulama suyunun azalması ile yaprak alanının azaldığı ve buna paralel olarak kuru madde veriminin de azaldığını bildirmiştir. Bu çalışmada da yaprak alan indeksi ile kuru madde verimi arasında pozitif doğrusal korelasyon tespit edilmiştir (Ek 26-31).

Her üç yöntemde su kalitesinin kuru madde verimine etkisi önemli bulunmuştur. Arıtılmış atık sular içerdikleri besin elementleri sayesinde bitki gelişmesine ve büyümesine yardımcı olmaktadır (Levy *et al.* 1998; Fonseca *et al.* 2007; Kiziloglu *et al.* 2008; Ladwani *et al.* 2012; Çay 2013; Asgari and Cornelis 2015). Dolayısıyla bu çalışmada da arıtılmış atık su uygulamalarında kuru madde veriminin yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Silajlık ot veriminde olduğu gibi kuru madde verimi de hem temiz hem de arıtılmış atık su uygulamalarında en yüksek YA sulama yönteminde, en düşük ise GS sulama yönteminde belirlenmiştir. Arıtılmış atık su ile YA sulama yönteminde tam sulanan konudan GS sulama yönteminde atık su ile tam sulanan konuya göre % 16,9 daha yüksek kuru madde verimi alınmıştır.

Çizelge 4.8. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) kuru madde verimine (kg/da) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	2126,1 a**	1924,8 b	2025,5 A**	2050,3 a*	1818,2 b	1934,2 A**	1844,2 a**	1690,1 b	1767,2 A**
	K1	1593,3 c	1344,9 d	1469,1 B	1573,9 c	1433,4 d	1503,7 B	1377,3 c	1195,0 d	1286,2 B
	K2	637,7 e	678,3 e	658,0 C	650,3 e	609,5 e	629,9 C	581,7 e	667,4 e	624,5 C
	Ort.	1452,3 A**	1316,0 B		1424,8 A**	1287,0 B		1267,7 A**	1184,2 B	
2016	K0	2417,1 a**	2114,6 b	2265,8 A**	2285,9 a**	1927,5 b	2106,7 A**	2042,5 a*	1853,8 b	1948,2 A**
	K1	1764,9 c	1550,8 e	1657,9 B	1705,9 c	1486,2 d	1559,0 B	1493,3 c	1391,8 d	1442,6 B
	K2	564,8 e	669,1 e	616,9 C	604,9 e	552,1 e	578,5 C	558,3 e	554,6 e	556,4 C
	Ort.	1582,2 A**	1444,9 B		1532,3 A**	1324,9 B		1364,7 A**	1266,7 B	
2015-2016	K0	2271,6 a**	2019,7 b	2145,7 A**	2168,1 a**	1872,8 b	2020,5 A**	1943,4 a**	1771,9 b	1857,7 A**
	K1	1679,1 c	1447,9 d	1563,5 B	1639,9 c	1459,8 d	1549,9 B	1435,3 c	1293,4 d	1364,4 B
	K2	601,2 f	673,7 e	637,4 C	627,6 e	580,8 e	604,2 C	570,0 e	611,0 e	590,5 C
	Ort.	1517,3 A**	1380,4 B		1478,5 A**	1304,5 B		1316,2 A**	1225,4 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.5. Ham protein oranı

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında ham protein oranlarındaki değişimler Çizelge 4.9' da, varyans analiz sonuçları da EK 5'de verilmiştir.

Sulama seviyelerinin ve su kalitelerinin ham protein oranı üzerine etkisi her üç yöntemde de önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Hem AS hem de TS uygulamalarında kısıt oranı arttıkça bitkinin protein oranı düşmüştür. Yosef *et al.* (2009) yonca bitkisinde, Baran (2015) silajlık mısırdaki yaptıkları çalışmalarda artan sulama miktarı ile bitkinin protein oranının arttığını bildirmişlerdir.

Denemede en yüksek protein oranı AS uygulamasının YA yöntemi ile uygulandığı tam sulama konusunda en düşük ise GS yöntemini ile uygulanan temiz suyun % 67 su kısıtı uygulamasından elde edilmiştir. Amiri *et al.* (2009), yaptıkları çalışmada AS uygulamasının mısır bitkisinde protein oranını artırdığını bildirmişlerdir. Al-Khamisi *et al.* (2011), mısırdaki yaptıkları çalışmada atık su kullanılan konularda (% 12,08) protein oranlarının temiz suya (% 10,64) göre yüksek bulduklarını belirtmişlerdir. AS konularında daha yüksek protein oranı atık suyun N içeriği ile ilişkilendirilebilir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Hem bitkideki hemde topraktaki N içeriğinin AS koşullarında yüksek olması da bu sonucu teyit etmektedir (Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.40).

Bütün sulama yöntemlerinde hem temiz hem de arıtılmış atık suyla sulama koşullarında bitki su tüketimi ve sulama miktarlarıyla protein oranları arasında yüksek derecede pozitif doğrusal ilişkiler belirlenmiştir. Aynı zamanda silajlık ot verimi ile protein oranı arasında da yüksek pozitif doğrusal ilişkiler bulunmuştur (Ek 26-31).

Çizelge 4.9. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) ham protein oranına (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	9,4 a**	7,9 c	8,60 A*	9,2 a**	7,7 c	8,44 A**	8,9 a**	7,4 c	8,20 A**
	K1	9,0 b	7,4 d	8,24 B	8,9 b	7,4 d	8,13 B	8,6 b	6,9 d	7,79 B
	K2	6,2 e	5,9 f	6,07 C	6,3 e	5,9 f	6,08 C	5,2 e	4,9 f	5,07 C
	Ort.	8,2 A**	7,1 B		4,1 A**	6,9 B		7,6 A**	6,5 B	
2016	K0	9,7 a**	7,9 c	8,80A**	9,4 a**	7,7 c	8,54 A**	9,4 a**	7,6 c	8,47 A**
	K1	9,2 b	7,4 d	8,30 B	8,9 b	7,5 d	8,17 B	8,6 b	7,0 d	7,83 B
	K2	6,4 e	6,0 f	6,21 C	6,4 e	5,8 f	6,09 C	5,3 e	5,2 e	5,21 C
	Ort.	8,4 A**	7,1 B		8,2 A**	6,9 B		7,8 A**	6,6 B	
2015-2016	K0	9,51 a**	7,90 c	8,70A**	9,28 a**	7,71 c	8,49 A**	9,16 a**	7,50 c	8,33 A**
	K1	9,13 b	7,40 d	8,27 B	8,87 b	7,43 d	8,15 B	8,62 b	7,00 d	7,81 B
	K2	6,32 e	5,97 f	6,14 C	6,32 e	5,85 f	6,09 C	5,23 e	5,06 f	5,14 C
	Ort.	8,32 A**	7,09 B		8,16 A**	6,99 B		7,67 A**	6,52 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.6. ADF (Asit Deterjan Lif) ve NDF (Nötral Deterjan Lif) oranı

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında ADF ve NDF oranlarındaki değişimler Çizelge 4.10 ve 4.11’ de varyans analiz sonuçları da EK 6 ve EK 7’de verilmiştir.

Denemenin her iki yılında da en yüksek ADF ve NDF oranları tüm yöntemlerde % 67 kısıt uygulanan konuda, en düşük ise YA sulama yönteminde arıtılmış atık suyun tam sulama olarak uygulandığı konuda belirlenmiştir. Hem AS hemde TS uygulamalarında kısıt oranı arttıkça bitkinin ADF ve NDF oranı da artış göstermiştir (Çizelge 4.10). EK 26-31 incelendiğinde sulama miktarı veya bitki su tüketimi ile ADF ve NDF oranları arasında yüksek derecede negatif doğrusal korelasyonlar belirlendiği görülmektedir.

Bitki yapısında karbonhidratların içerisinde bulunan ADF, sindirimi zor olan selüloz ve ligninlerden oluşmaktadır (Anonim 2011). Bitki içeriğinde ADF oranı artması ile lif içeriğinde arttığı için kalite oranı düşmektedir (Şen 2017). NDF esas olarak lignin, selüloz ve hemiselülozdan oluşur ve bitki hücre duvarını temsil etmektedir (McDonald 2002). NDF içeriğinin yüksek olması rumen dolgusu nedeniyle alımı azaltabilir, bu da kuru madde alımının azalmasına ve yetersiz enerjiye neden olmaktadır (Oba and Allen 1999). Bu sebeple hayvan beslemede ADF ve NDF oranının düşük olması istenen bir durumdur.

Yürütülen bu çalışmada AS koşullarında ADF ve NDF TS koşullarına göre önemli derecede düşük bulunmuştur. AS uygulamalarında ADF ve NDF’nin düşük olmasının sebebi AS sulama koşullarında protein oranının daha yüksek olmasıyla açıklanabilir. Nitekim EK 26-31’deki protein ile ADF ve NDF arasındaki yüksek negatif doğrusal ilişkilerde bu yaklaşımı desteklemektedir. Amerika Ulusal Araştırma Konseyi (NRC)’nin (1989) raporuna göre bazı buğdaygil ve baklagil bitkilerde büyüme ile birlikte protein oranlarında düşüşler, ADF ve NDF oranlarında ise artışlar gözlemlendiğini belirtilmiştir. Gulsen *et al.* (2004) yem bitkisi olan fiğ’de yaptığı çalışmada protein oranının azalmasıyla ADF ve NDF oranının arttığını bildirmişlerdir.

Aynı zamanda yüksek verim koşullarında ADF ve NDF oranlarının verimle yüksek derecede negatif doğrusal korelasyonları dikkate alındığında ADF ve NDF'nin düştüğü de söylenebilir. Özellikle bitki boyu artışıyla ADF ve NDF oranı arasında oldukça yüksek negatif korelasyonlar belirlenmiştir (EK 26-31). Mut vd (2017) bazı ekmeklik buğday çeşitlerinde yapmış oldukları çalışmada bitki boyu ile NDF arasında yüksek negatif ilişki bulunduğu bildirmişlerdir. Çağan vd (2018), adi fiğ'in ot verimi ve ot kalitesini araştırdıkları çalışmada, bitki boyu ile NDF arasında önemli negatif bir ilişkinin bulunduğunu belirtmişlerdir.



Çizelge 4.10. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) ADF oranına (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	27,9 e*	31,7 d	29,8 C **	28,2 e*	32,0 d	30,1 C**	28,5 d*	32,0 c	30,2 C**
	K1	30,7 d	33,7 c	32,2 B	31,1 d	34,3 c	32,7 B	31,7 c	34,7 b	33,3 B
	K2	34,9 b	36,7 a	35,8 A	35,2 b	37,0 a	36,1 A	35,8 b	37,2 a	36,5 A
	Ort.	31,1 B**	34,0 A		31,5 B	34,4 A		32,0 B**	34,7 A	
2016	K0	27,3 e	31,4 a	29,4 C**	28,0 f**	31,7 d	29,8 C**	28,2 d*	31,8 c	30,0 C**
	K1	30,6 d	33,0 c	31,8 B	30,4 e	33,9 c	32,2 B	31,9 c	34,5 b	33,2 B
	K2	35,6 b	36,4 a	35,5 A	34,8 b	36,6 a	35,7 A	35,2 b	37,0 a	36,1 A
	Ort.	30,8 B**	33,6 A		31,1 B**	34,0 A		31,8 B**	34,4 A	
2015-2016	K0	27,6 f**	31,6 d	29,6 C**	28,1 f**	31,9 d	30,0 C**	28,4 e**	31,9 d	30,1 C**
	K1	30,6 e	33,3 c	32,0 B	30,8 e	34,1 c	32,4 B	31,8 d	34,7 c	33,2 B
	K2	34,7 b	36,5 a	35,6 A	35,1 b	36,8 a	35,9 A	35,5 b	37,1 a	36,3 A
	Ort.	31,0 B**	33,8 A		31,3 B**	34,2 A		31,9 B**	34,5 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.11. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) NDF oranına (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	41,1 d**	47,1 c	39,6 C**	42,3 d**	47,9 c	40,6 C**	42,8 e**	50,2 c	41,0 C**
	K1	46,4 c	50,0 b	41,7 B	47,0 c	50,7 b	42,4 B	48,2 d	52,8 b	43,5 B
	K2	53,5 a	53,4 a	46,9 A	54,3 a	53,2 a	47,7 A	55,5 a	55,2 a	48,4 A
	Ort.	47,0 B**	50,2 A		47,9 B**	49,7 A		48,9 B**	52,8 A	
2016	K0	40,4 d**	46,2 c	38,9 C**	40,9 d**	47,0 c	41,0 C**	41,6 d**	49,6 c	40,1 C**
	K1	45,6 c	49,6 b	41,1 B	46,6 c	49,6 b	43,5 B	49,0 c	51,9 b	43,5 B
	K2	52,5 a	53,2 a	46,4 A	53,7 a	52,6 a	48,4 A	54,7 a	54,4 a	47,5 A
	Ort.	46,2 B**	49,7 A		47,1 B**	49,7 A		48,4 B**	51,9 A	
2015-2016	K0	36,8 f**	41,8 d	39,3 C**	37,6 e **	42,4 c	40,0 C**	38,2 e**	45,9 c	40,6 C**
	K1	39,0 e	43,8 c	41,4 B	39,8 d	44,2 b	42,0 B	41,6 d	45,4 b	43,5 B
	K2	46,0 b	47,3 a	46,6 A	47,0 a	47,3 a	47,2 A	48,1 a	47,8 a	48,0 A
	Ort.	40,6 B**	44,3 A		41,5 B**	44,6 A		42,9 B**	45,4 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.5.7. Bitki makro- mikro element ve ağır metal içerikleri

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında bitkilerdeki N, P, K, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni içeriğindeki değişimler Çizelge 4.12-25’ de, varyans analiz sonuçları da EK 8-21’de verilmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde, YA, YÜ ve GS yöntemlerinin üçünde de su kalitesinin ve sulama miktarlarının birincil ve ikincil makro element (N, P, K, Ca ve Mg) içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Çizelge 4.12-4.16). Su kısıtıyla içerikler azalmış, en yüksek N, P, K, Ca ve Mg içerikleri, her iki deneme yılında da artırılmış atık su ile tam sulanan uygulamadan elde edilmiştir. Bunun sebebinde atık suların temiz suya oranla bu elementleri daha fazla içermesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Yine topraklarda AS koşullarında toplam azot, organik madde, K_2O , P_2O_5 içeriklerinin yüksek bulunması bitki makro, mikro element artışını desteklemektedir (Çizelge 4.32,4.40, 4.41, 4.42)

Çok sayıda araştırmacı, yürüttükleri çalışmalarda bitki gelişimi için gerekli olan besin elementlerinin özellikle N, P ve K’un atık sularda temiz suya kıyasla daha fazla bulunduğunu belirtmişlerdir (Wang *et al.* 1998; Zavadil 2009; Challam and Chaturvedi 2013; Mousavi *et al.* 2013; Tunç 2013; Fesliyen 2017).

Atık suyla sulanan birçok bitkide birincil ve ikincil makro element içeriklerinin temiz suyla sulamaya göre arttığı belirlenmiştir. Cicek *et al.* (2013) atık sularla sulanan buğday bitkisinde N, P, K, Ca, Mg içeriklerinde artış olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Qadir *et al.* (2007) evsel atık suyun tarımda kullanımı ile topraklara ve bitkiye potasyum katkısı sağlanacağını ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.12. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) N içeriğine (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	2,01 a**	1,50 c	1,76 A**	1,97 a**	1,51 c	1,74 A**	1,96 a**	1,45 c	1,71 A**
	K1	1,85 b	1,41 d	1,63 B	1,80 b	1,39 d	1,60 B	1,75 b	1,36 d	1,55 B
	K2	1,14 e	1,03 f	1,08 C	1,12 e	1,02 f	1,07 C	1,00 e	0,95 e	0,98 C
	Ort.	1,66 A**	1,31 B		1,63 A**	1,31 B		1,57 A**	1,25 B	
2016	K0	2,09 a**	1,48 c	1,79 A**	2,06 a**	1,53 b	1,80 A**	2,07 a**	1,48 c	1,77 A**
	K1	1,88 b	1,37 d	1,63 B	1,84 c	1,39 d	1,62 B	1,83 b	1,34 d	1,59 B
	K2	1,15 e	1,01 f	1,08 C	1,15 e	1,01 f	1,08 C	0,94 e	0,91 e	0,92 C
	Ort.	1,71 A**	1,29 B		1,68 A**	1,31 B		1,61 A**	1,24 B	
2015-2016	K0	2,05 a**	1,49 c	1,77 A**	2,01 a**	1,52 c	1,77 A**	2,02 a**	1,47 c	1,74 A**
	K1	1,87 b	1,39 d	1,63 B	1,82 b	1,39 d	1,61 B	1,79 b	1,35 d	1,57 B
	K2	1,14 e	1,02 f	1,08 C	1,14 e	1,01 f	1,08 C	0,97 e	0,93 e	0,95 C
	Ort.	1,69 A**	1,30 B		1,66 A**	1,31 B		1,59 A**	1,25 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.13. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) P içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,58 a**	0,45 c	0,52 A**	0,58 a**	0,42 c	0,51 A**	0,55 a**	0,44 c	0,50 A**
	K1	0,54 b	0,42 d	0,48 B	0,51 b	0,39 d	0,45 B	0,48 b	0,37 d	0,43 B
	K2	0,32 e	0,30 e	0,31 C	0,32 e	0,30 f	0,31 C	0,28 e	0,28 e	0,28 C
	Ort.	0,48 A**	0,39 B		0,47 A**	0,37 B		0,44 A**	0,37 B	
2016	K0	0,65 a**	0,43 c	0,54 A**	0,62 a**	0,45 c	0,54 A**	0,56 a**	0,43 c	0,49 A**
	K1	0,57 b	0,38 d	0,47 B	0,54 b	0,39 d	0,46 B	0,50 b	0,37 d	0,44 B
	K2	0,33 e	0,28 f	0,31 C	0,33 e	0,29 f	0,31 C	0,29 e	0,26 f	0,27 C
	Ort.	0,51 A**	0,36 B		0,50 A**	0,37 B		0,45 A**	0,35 B	
2015-2016	K0	0,63 a**	0,44 c	0,53 A**	0,60 a**	0,44 c	0,52 A**	0,55 a**	0,44 c	0,50 A**
	K1	0,55 b	0,40 d	0,47 B	0,52 b	0,39 d	0,46 B	0,49 b	0,37 d	0,43 B
	K2	0,32 e	0,29 f	0,31 C	0,32 e	0,29 f	0,31 C	0,28 e	0,27 e	0,28 C
	Ort.	0,50 A**	0,38 B		0,48 A**	0,37 B		0,44 A**	0,36 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.14. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) K içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	1,84 a**	1,37 c	1,60 a**	1,77 a**	1,35 c	1,56 A**	1,78 a**	1,40 c	1,59 A**
	K1	1,62 b	1,20 d	1,41 B	1,53 b	1,18 d	1,35 B	1,54 b	1,19 d	1,37 B
	K2	0,96 e	0,90 f	0,33 C	0,98 e	0,91 f	0,94 C	0,91 e	0,78 f	0,84 C
	Ort.	1,47 A**	1,15 B		1,43 A**	1,14 B		1,41 A**	1,12 B	
2016	K0	1,91 a**	1,42 c	1,67 A**	1,89 a**	1,38 c	1,64 A**	1,85 a**	1,43 c	1,64 A**
	K1	1,65 b	1,23 d	1,44 B	1,58 b	1,25 d	1,42 B	1,56 b	1,15 d	1,36 B
	K2	0,91 e	0,87 e	0,89 C	1,01 e	0,88 f	0,95 C	0,88 e	0,76 f	0,82 C
	Ort.	1,48 A**	1,18 B		1,50 A**	1,17 B		1,43 A**	1,12 B	
2015-2016	K0	1,87 a**	1,40 c	1,63 A**	1,83 a**	1,37 c	1,60 A**	1,82 a**	1,42 c	1,62 A**
	K1	1,63 b	1,21 d	1,42 B	1,56 b	1,21 d	1,38 B	1,55 b	1,17 d	1,36 B
	K2	0,93 e	0,89 e	0,91 C	1,00 e	0,89 f	0,95 C	0,89 e	0,77 f	0,83 C
	Ort.	1,48 A**	1,17 B		1,46 A**	1,16 B		1,42 A**	1,12 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.15. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Ca içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,86 a*	0,70 b	0,78 A**	0,85 a**	0,72 b	0,79 A**	0,79 a**	0,68 b	0,73 A**
	K1	0,72 b	0,62 c	0,67 B	0,73 b	0,60 c	0,66 B	0,65 b	0,55 c	0,60 B
	K2	0,33 d	0,30 d	0,32 C	0,30 d	0,31 d	0,31 C	0,28 d	0,32 d	0,30 C
	Ort.	0,64 A**	0,54 B		0,63 A**	0,54 B		0,57 A**	0,52 B	
2016	K0	0,82 a**	0,68 b	0,75 A**	0,80 a**	0,65 b	0,73 A**	0,75 a**	0,70 b	0,73 A**
	K1	0,71 b	0,61 c	0,66 B	0,65 b	0,57 c	0,61 B	0,67 b	0,61 c	0,64 B
	K2	0,35 d	0,34 d	0,35 C	0,28 e	0,33 d	0,30 C	0,25 e	0,30 d	0,27 C
	Ort.	0,63 A**	0,54 B		0,58 A**	0,52 B		0,55	0,54	
2015-2016	K0	0,84 a**	0,69 b	0,77 A**	0,83 a**	0,69 b	0,76 A**	0,77 a**	0,69 b	0,73 A**
	K1	0,71 b	0,62 c	0,66 B	0,69 b	0,59 c	0,64 B	0,66 b	0,58 c	0,62 B
	K2	0,34 d	0,32 d	0,33 C	0,29 e	0,32 d	0,30 C	0,26 e	0,31 d	0,29 C
	Ort.	0,63 A**	0,54 B		0,60 A**	0,53 B		0,56 A**	0,53 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.16. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Mg içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,88 a**	0,53 c	0,71 A**	0,85 a**	0,60 c	0,73 A**	0,83 a**	0,49 c	0,66 A**
	K1	0,75 b	0,42 d	0,59 B	0,74 b	0,45 d	0,59 B	0,69 b	0,40 d	0,54 B
	K2	0,27 e	0,25 e	0,26 C	0,31 e	0,24 f	0,27 C	0,24 e	0,21 e	0,22 C
	Ort.	0,63 A	0,40 B		0,63 A**	0,43 B		0,59 A**	0,37 B	
2016	K0	0,79 a**	0,61 c	0,70 A**	0,81 a**	0,57 c	0,69 A**	0,78 a**	0,51 c	0,45 A**
	K1	0,71 b	0,47 d	0,59 B	0,72 b	0,45 d	0,58 B	0,71 b	0,39 d	0,55 B
	K2	0,30 e	0,27 e	0,29 C	0,20 f	0,25 e	0,23 C	0,26 e	0,23 e	0,25 C
	Ort.	0,60 A	0,45 B		0,57 A**	0,43 B		0,58 A**	0,38 B	
2015-2016	K0	0,84 a**	0,57 c	0,70 A**	0,83 a**	0,59 c	0,71 A**	0,81 a**	0,50 c	0,65 A**
	K1	0,73 b	0,45 d	0,59 B	0,73 b	0,45 d	0,59 B	0,70 b	0,39 d	0,55 B
	K2	0,29 e	0,26 e	0,27 C	0,26 f	0,25 e	0,25 C	0,25 e	0,22 e	0,23 C
	Ort.	0,62 A**	0,43 B		0,60 A**	0,43 B		0,58 A**	0,37 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Silajlık mısırın mikro element ve ağır metal (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) içeriklerini gösteren Çizelge 4.17-4.25 incelendiğinde tüm sulama yöntemlerinde sulama miktarının azalışıyla mikro element ve ağır metal içerikleri azalmış, AS konularında TS uygulamalarına göre istatistiksel olarak daha yüksek değerler gözlemlenmiştir.

Sulama miktarının azalışı ile bitkiye su girişinin azalışına bağlı olarak bitkide elementlerin daha az birikmesi birçok çalışmada da saptanmıştır (Kuslu *et al.* 2008; Simsek *et al.* 2011; Kuscü *et al.* 2014; Sahin *et al.* 2015). Cu, Pb ve Cr içerikleri GS sulama yönteminde, diğer mikro ve ağır metallerde YA sulama yönteminde atık suyla tam sulanan konuda en yüksek miktarlarda belirlenmiştir. Hem makro hemde mikro element ve ağır metal içeriklerinin (Cu, Pb ve Cr hariç) yüzey altı damla sulamada daha fazla birikmesi, bu yöntemde toprak kök bölgesine doğrudan verilen suyun, azalan buharlaşma kayıplarından dolayı transpirasyon ağırlıklı daha etkili kullanımıyla açıklanabilir. Güneş (2007), transpirasyon oranının artmasıyla bitkilerin besin elementi alınımlarının arttığını belirtmişlerdir. Atık suyla sulama koşullarında daha yüksek değerlerin belirlenmiş olmasıda kullanılan atık suların ağır metal ve mikro element içermeleriyle açıklanabilir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Ayrıca atık su uygulanan toprakta bu elementlerin birikmiş olması da bitkideki birikimi açıklamaktadır (Çizelge 4.43-4.51).

Deneme sonunda tüm sulama yöntemlerinde AS koşullarında bitki ağır metal içerik sıralaması sırasıyla $Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd$ olarak belirlenmiştir. Galavi *et al.* (2010), sorgum bitkisinin sulanmasında AS kullanımında bitkideki Fe, Cu, Zn, Pb ve Mn içeriklerinde temiz suya oranla artışların olduğunu bildirmişlerdir. Rusan *et al.* (2007), iki yıl boyunca atık suyla sulanmış olan arpanın Cu, Zn, Fe, Mn, Pb ve Cd içeriklerinde temiz su uygulamasına göre % 2,5 ile % 40,6 oranında artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Arora *et al.* (2008) ve Qureshi *et al.* (2016), şalgam, turp ve havuç bitkisinin arıtılmış atık suyla sulanması sonucunda bitkideki ağır metal birikiminin $Fe > Mn > Zn > Cu$ şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalarda atık suyun bitkilerde mikro ve ağır metal içeriklerini artırdığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.17. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) B içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	19,9 a*	15,7 c	17,8 A**	20,4 a**	16,0 c	10,2 A**	20,8 a**	15,7 b	18,2 A**
	K1	17,8 b	14,2 c	16,0 B	17,5 b	14,8 d	16,1 B	17,0 b	14,1 c	15,5 B
	K2	8,4 d	7,5 d	8,0 C	9,1 e	8,6 e	8,9 C	9,2 d	8,1 d	8,7 C
	Ort.	15,4 A**	12,5 B		15,7 A**	13,1 B		15,6 A**	12,6 B	
2016	K0	21,4 a**	16,3 c	18,8 A**	21,0 a**	17,1 c	19,0 A**	19,4	17,0	18,2 A**
	K1	19,0 b	13,9 d	16,4 B	18,5 b	14,2 d	16,4 B	16,8	13,7	15,3 B
	K2	8,8 e	7,6 e	8,2 C	7,7 e	7,1 e	7,4 C	9,3	7,0	8,1 C
	Ort.	16,4 A**	12,6 B		15,7 A**	12,8 B		15,2 A**	12,6 B	
2015-2016	K0	20,6 a**	16,0 c	18,3 A**	20,6 a**	16,6 c	18,6 A**	20,1 a*	16,3 b	18,2 A**
	K1	18,4 b	14,0 d	16,2 B	18,0 b	14,5 d	16,2 B	16,9 b	13,9 c	15,4 B
	K2	8,6 e	7,6 e	8,1 C	8,4 e	7,8 e	8,1 C	9,2 d	7,5 e	8,4 C
	Ort.	15,9 A**	12,5 B		15,7 A**	13,0 B		15,4 A**	12,6 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: $p < 0,05$ **: $p < 0,01$

Çizelge 4.18. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Fe içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	171,5 a**	136,2 c	153,8 A**	164,2 a*	130,3 c	147,3 A**	166,5 a*	124,5 c	145,5 A**
	K1	155,4 b	132,4 c	143,9 B	148,3 b	122,2 d	135,3 B	145,4 b	110,4 d	127,9 B
	K2	114,3 d	100,8 e	107,5 C	112,1 e	100,3 f	106,2 C	110,4 d	95,4 e	102,9 C
	Ort.	147,0 A**	123,1 B		141,6 A**	117,6 B		140,8 A**	110,1 B	
2016	K0	179,5 a**	131,4 c	155,4 A**	170,6 a**	125,6 c	148,1 A**	162,2 a**	120,8 c	141,5 A**
	K1	154,3 b	136,6 c	140,4 B	162,9 b	120,1 c	141,5 B	131,3 b	105,6 d	118,5 B
	K2	111,8 d	104,3 d	108,1 C	105,1 d	92,5 e	98,8 C	96,3 e	88,6 f	92,5 C
	Ort.	148,5 A	120,7 B		146,2 A**	112,7 B		129,9 A**	105,0 B	
2015-2016	K0	175,5 a**	133,8 c	154,6 A**	167,4 a**	128,0 c	147,7 A**	164,4 a**	122,7 c	143,5 A**
	K1	154,8 b	129,5 c	142,2 B	155,6 b	121,1 d	138,4 B	138,4 b	108,0 d	123,2 B
	K2	113,1 d	102,5 e	107,8 C	108,6 e	96,4 f	102,5 C	103,3 d	92,0 e	97,7 C
	Ort.	147,8 A**	121,9 B		143,9 A**	115,2 B		135,4 A**	107,5 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.19. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cu içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	8,73 a**	3,16 c	5,94 A**	8,31 a**	3,47 c	5,89 A**	9,29 a**	3,50 c	6,40 A**
	K1	6,58 b	2,88 cd	4,73 B	6,36 b	2,71 d	4,53 B	6,38 b	2,64 d	4,51 B
	K2	2,32 d	1,46 e	1,89 C	2,19 e	1,79 e	1,99 C	2,82 d	1,46 e	2,14 C
	Ort.	5,88 A**	2,50 B		5,62 A**	2,66 B		6,17 A**	2,53 B	
2016	K0	9,54 a**	3,02 c	6,28 A**	9,05 a**	2,95 c	6,00 A**	10,75 a**	3,25 c	7,00 A**
	K1	7,15 b	2,64 c	4,90 B	6,74 b	2,34 d	4,54 B	6,91 b	2,44 d	4,68 B
	K2	2,67 c	1,73 d	2,20 C	2,65 cd	1,78 e	2,21 C	2,94 cd	1,63 e	2,29 C
	Ort.	6,45 A**	2,46 B		6,15 A**	2,36 B		6,87 A**	2,44 B	
2015-2016	K0	9,13 a**	3,09 c	6,11 A**	8,68 a**	3,21 c	5,94 A**	10,02 a**	3,37 c	6,70 A**
	K1	6,86 b	2,76 cd	4,81 B	6,55 b	2,53 d	4,54 B	6,65 b	2,54 d	4,60 B
	K2	2,50 d	1,59 d	2,04 C	2,42 d	1,79 e	2,10 C	2,88 cd	1,55 e	2,21 C
	Ort.	6,16 A**	2,48 B		5,88 A**	2,51 B		6,52 A**	2,49 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.20. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Mn içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	54,1 a**	20,4 c	37,2 A**	52,7 a**	20,2 c	36,4 A**	49,7 a**	19,3 c	34,5 A**
	K1	41,6 b	16,2 d	28,9 B	38,1 b	17,4 d	27,8 B	38,1 b	15,6 d	26,8 B
	K2	14,7 d	9,8 e	12,3 C	15,5 d	9,1 e	12,3 C	16,1 d	10,7 e	13,4 C
	Ort.	36,8 A**	15,5 B		35,4 A**	15,5 B		34,6 A**	15,2 B	
2016	K0	66,9 a**	21,1 c	44,0 A**	59,9 a**	19,1 c	39,5 A**	56,2 a**	19,0 c	37,6 A**
	K1	55,7 b	17,0 d	36,3 B	51,6 b	15,8 d	33,7 B	43,8 a	12,3 d	28,1 B
	K2	16,5 d	10,6 e	13,6 C	14,2 d	9,6 e	11,9 C	13,0 d	10,2 e	11,6 C
	Ort.	46,4 A**	16,2 B		41,9 A**	14,8 B		37,7 A**	13,8 B	
2015-2016	K0	60,5 a**	20,8 c	40,6 A**	56,3 a**	19,6 c	38,0 A**	53,0 a**	19,1 c	36,0 A**
	K1	48,6 b	16,6 d	32,6 B	44,9 b	16,6 d	30,7 B	40,9 b	14,0 d	27,4 B
	K2	15,6 d	10,2 e	12,9 C	14,8 e	9,3 f	12,1 C	14,6 d	10,4 e	12,5 C
	Ort.	41,6 A**	15,9 B		38,7 A**	15,2 B		36,2 A**	14,5 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.21. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Zn içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	38,2 a**	22,5 c	30,4 A**	36,2 a**	21,4 c	28,8 A**	35,5 a**	20,4 c	28,0 A**
	K1	32,4 b	20,5 c	26,4 B	33,3 b	17,9 d	25,6 B	28,3 b	18,2 d	23,2 B
	K2	18,1 d	12,3 e	15,2 C	17,6 d	12,5 e	25,1 C	18,2 d	10,0 e	14,1 C
	Ort.	29,6 A**	18,4 B		29 A**	17,3 B		27,4 A**	16,2 B	
2016	K0	49,5 a**	23,5 d	36,5 A**	40,4 a**	20,3 c	30,4 A**	44,4 a**	21,1 c	32,8 A**
	K1	40,7 b	25,8 c	33,3 B	34,9 b	18,5 d	26,7 B	37,1 b	18,1 d	27,6 B
	K2	20,7 e	11,0 f	15,8 C	18,5 d	12,7 e	15,6 C	17,3 d	11,2 e	14,2 C
	Ort.	36,9 A**	20,1 B		31,3 A**	17,2 B		32,9 A**	16,8 B	
2015-2016	K0	43,8 a**	23,0 c	33,4 A**	38,3 a**	20,8 c	29,6 A**	40,0 a**	20,8 c	30,4 A**
	K1	36,5 b	23,2 c	29,8 B	34,1 b	18,2 d	26,1 B	32,7 b	18,1 d	25,4 B
	K2	19,4 d	11,7 e	15,5 C	18,1 d	12,6 e	15,3 C	17,7 d	10,6 e	14,2 C
	Ort.	33,2 A**	19,3 B		30,2 A**	17,2 B		30,1 A**	16,5 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.22. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Pb içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,324 a**	0,053 d	0,189 A**	0,304 a**	0,084 c	0,194 A**	0,375 a**	0,072 d	0,223 A**
	K1	0,283 b	0,051 d	0,167 B	0,295 a	0,081 c	0,188 B	0,308 a	0,085 d	0,197 B
	K2	0,137 c	0,038 d	0,088 C	0,162 b	0,060 c	0,111 C	0,194 b	0,066 d	0,130 C
	Ort.	0,248 A**	0,048 B		0,254 A**	0,075 B		0,292 A**	0,074 B	
2016	K0	0,304 a**	0,044 d	0,174 A**	0,338 a**	0,056 d	0,197 A**	0,353 a**	0,057 d	0,205 A**
	K1	0,276 b	0,042 d	0,159 B	0,306 b	0,048 d	0,177 B	0,290 b	0,061 d	0,176 B
	K2	0,133 c	0,035 d	0,084 C	0,172 c	0,041 d	0,107 C	0,141 c	0,046 d	0,094 C
	Ort.	0,238 A**	0,040 B		0,272 A**	0,048 B		0,261 A**	0,055 B	
2015-2016	K0	0,314 a**	0,049 d	0,101 A**	0,321 a**	0,070 d	0,195 A**	0,364 a**	0,065 d	0,214 A**
	K1	0,279 b	0,047 de	0,163 B	0,301 b	0,064 d	0,182 B	0,299 b	0,073 d	0,186 B
	K2	0,135 c	0,037 e	0,086 C	0,167 c	0,051 e	0,109 C	0,168 d	0,056 d	0,112 C
	Ort.	0,243 A**	0,044 B		0,263 A**	0,062 B		0,277 A**	0,065 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.23. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cd içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,162 a**	0,062 c	0,112 A**	0,158 a**	0,059 c	0,108 A**	0,150 a**	0,058 b	0,104 A**
	K1	0,124 b	0,055 c	0,089 B	0,116 b	0,056 cd	0,086 B	0,131 a	0,052 b	0,092 B
	K2	0,045 c	0,022 d	0,034 C	0,041 c	0,020 e	0,031 C	0,042 b	0,021 c	0,031 C
	Ort.	0,110 A**	0,046 B		0,105 A**	0,045 B		0,107 A**	0,044 B	
2016	K0	0,175 a**	0,067 c	0,121 A**	0,170 a**	0,069 c	0,119 A**	0,064 a**	0,065 c	0,115 A**
	K1	0,132 b	0,051 cd	0,092 B	0,128 b	0,052 cd	0,090 B	0,121 b	0,054 c	0,088 B
	K2	0,043 c	0,023 e	0,033 C	0,045 c	0,020 e	0,032 C	0,050 c	0,019 d	0,034 C
	Ort.	0,117 A**	0,047 B		0,114 A**	0,047 B		0,111 A**	0,046 B	
2015-2016	K0	0,167 a**	0,065 c	0,117 A**	0,164 a**	0,064 c	0,114 A**	0,157 a**	0,062 c	0,109 A**
	K1	0,128 b	0,053 d	0,090 B	0,122 b	0,054 cd	0,088 B	0,126 b	0,053 cd	0,090 B
	K2	0,044 c	0,023 e	0,033 C	0,043 c	0,020 e	0,032 C	0,046 d	0,020 e	0,033 C
	Ort.	0,114 A**	0,047 B		0,110 A**	0,046 B		0,110 A**	0,045 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.24. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Cr içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	1,28 a**	0,31 d	0,80 A**	1,25 a**	0,24 d	0,74 A**	1,34 a**	0,23 d	0,79 A**
	K1	1,09 b	0,25 de	0,67 B	0,99 b	0,20 d	0,60 B	1,15 b	0,18 de	0,66 B
	K2	0,55 c	0,15 e	0,35 C	0,50 c	0,15 d	0,33 C	0,69 c	0,15 e	0,42 C
	Ort.	0,98 A**	0,24 B		0,91 A**	0,20 B		1,06 A**	0,19 B	
2016	K0	1,35 a**	0,28 d	0,82 A**	1,40 a**	0,26 d	0,82 A**	1,44 a**	0,21 d	0,83 A**
	K1	1,06 b	0,19 e	0,62 B	1,11 b	0,17 e	0,64 B	1,08 b	0,16 de	0,62 B
	K2	0,62 c	0,15 e	0,38 C	0,58 c	0,15 e	0,36 C	0,75 c	0,13 e	0,44 C
	Ort.	1,01 A**	0,21 B		1,02 A**	0,20 B		1,09 A**	0,17 B	
2015-2016	K0	1,32 a**	0,30 d	0,81 A**	1,31 a**	0,25 d	0,78 A**	1,39 a**	0,22 d	0,81 A**
	K1	1,07 b	0,22 e	0,65 B	1,05 b	0,19 de	0,62 B	1,11 b	0,17 de	0,64 B
	K2	0,58 c	0,15 f	0,37 C	0,54 c	0,15 e	0,35 C	0,72 c	0,14 e	0,43 C
	Ort.	0,99 A**	0,22 B		0,97 A**	0,20 B		1,07 A**	0,18 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.25. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) Ni içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	0,183 a**	0,024 d	0,103 A**	0,175 a**	0,021 d	0,098 A**	0,194 a**	0,020 d	0,107 A**
	K1	0,154 b	0,018 d	0,086 B	0,142 b	0,016 d	0,079 B	0,158 b	0,016 d	0,087 B
	K2	0,064 c	0,012 d	0,039 C	0,073 c	0,012 d	0,042 C	0,079 c	0,090 d	0,044 C
	Ort.	0,134 A**	0,018 B		0,130 A**	0,016 B		0,143 A**	0,015 B	
2016	K0	0,211 a**	0,020 d	0,116 A**	0,188 a**	0,018 d	0,103 A**	0,162 a**	0,017 c	0,090 A**
	K1	0,192 b	0,017 d	0,104 B	0,161 b	0,016 d	0,089 B	0,149 a	0,016 c	0,083 B
	K2	0,075 c	0,010 d	0,043 C	0,069 c	0,010 d	0,039 C	0,075 b	0,011 c	0,043 C
	Ort.	0,159 A**	0,016 B		0,139 A**	0,015 B		0,129 A**	0,014 B	
2015-2016	K0	0,197 a**	0,022 d	0,110 A**	0,182 a**	0,020 d	0,101 A**	0,178 a**	0,018 d	0,098 A**
	K1	0,173 b	0,018 d	0,095 B	0,152 b	0,016 d	0,084 B	0,154 b	0,016 d	0,085 B
	K2	0,071 c	0,011 d	0,041 C	0,071 c	0,011 d	0,041 C	0,077 c	0,010 d	0,043 C
	Ort.	0,147 A**	0,017 B		0,135 A**	0,016 B		0,136 A**	0,015 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.6. Bitkide Bazı Fizyolojik Özelliklerde Değişimler

4.6.1. Klorofil içeriği (SPAD)

Klorofil, fotosentez için başlıca kloroplast bileşenlerinden biridir ve göreceli klorofil içeriği, fotosentez oranı ile pozitif bir ilişkiye sahiptir. Yapraklardaki klorofil miktarını belirlemede yoğun olarak kullanılan klorofil metre (SPAD) ölçüm değerlerinin doğruluğunun yüksek olduğu bilinmektedir (Argenta *et al.* 2004).

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında klorofil (SPAD) değişimleri Çizelge 4.26’ da, varyans analiz sonuçları da EK 22’de verilmiştir.

Sulama seviyelerinin SPAD üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, su kısıtıyla değerler azalmıştır (Çizelge 4.26). Ek 26-31’deki doğrusal korelasyon katsayı değerleri de tüm sulama yöntemlerinde SPAD değerlerinin bitki su tüketimi veya sulama miktarları artışıyla önemli derecede arttığını göstermektedir. Durmuş (2015), su kısıtı uygulanan silajlık mısır çeşitlerinde SPAD değerlerinde kısıt uygulanmayan kontrol uygulamasına kıyasla düşüşler olduğunu bildirmiştir. Kırnak ve Demirtaş (2002a), bitkilerde su kısıtı ile klorofil kaybının yaşandığı belirtmişlerdir. Çamoğlu vd (2011) ve Anjum *et al.* (2011) mısır bitkisinde yaptıkları çalışmalarında su stresinin artışıyla klorofil içeriğinde azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Pirmoradian *et al.* (2004) pirinçte; Hamzei and Soltani (2012) kanalo bitkisinde yaptıkları çalışmalarda su kısıtı artışıyla SPAD değerlerinde düşüşler olduğunu tespit etmişlerdir.

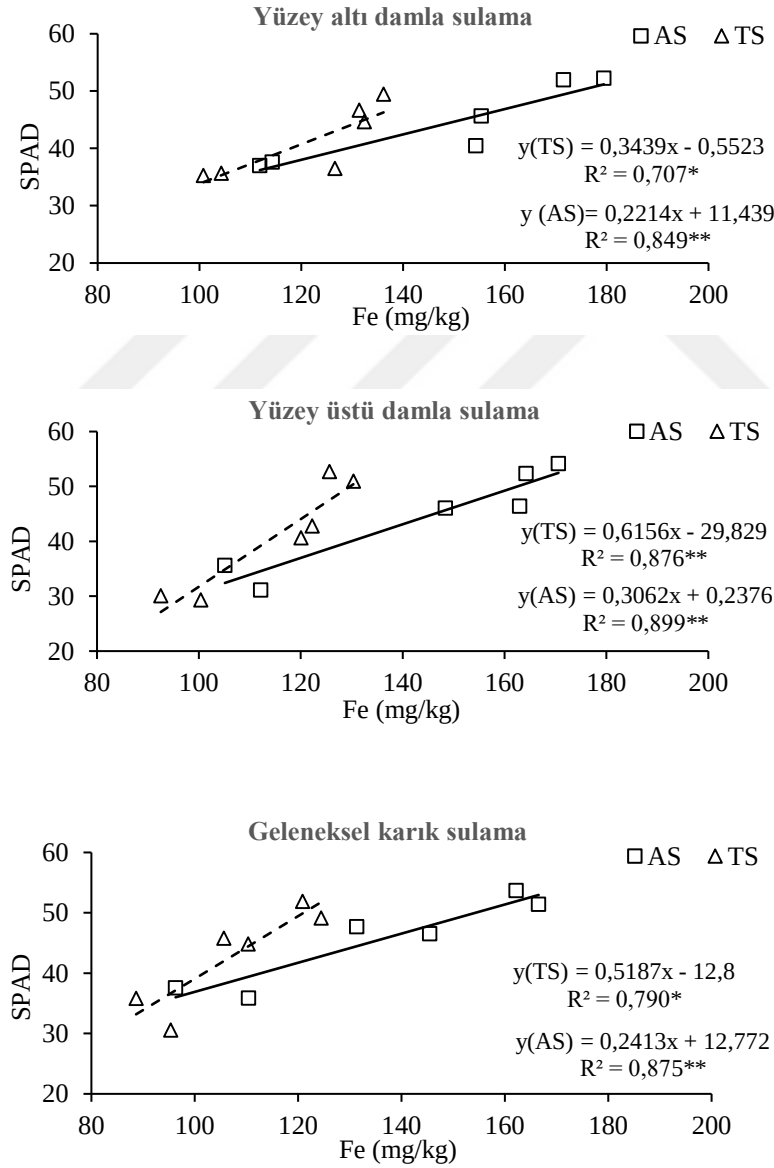
Tüm sulama yöntemlerinde su kalitesinin de SPAD değerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.26). Denemede en yüksek klorofil içerikleri AS konularından elde edilmiştir. Al-Khamisi *et al.* (2011) bitkinin SPAD değerlerini temiz su uygulamalarında 44,60- 49,54, atık su uygulamalarında ise 52,76-55,12 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.26. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) SPAD değerlerine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	52,0	49,5	50,7 A**	52,4 a*	50,9 b	51,7 A**	51,4 a**	49,1 b	50,2 A**
	K1	45,6	44,7	45,1 B	46,1 c	42,8 d	44,4 B	46,5 c	44,8 d	45,7 B
	K2	37,6	35,3	36,5 C	31,1 e	29,3 f	30,2 C	35,8 e	30,5 f	33,2 C
	Ort.	45,1 A**	43,1 B		43,2 A**	41,0 B		44,6 A**	41,5 B	
2016	K0	52,2 a**	46,7 b	49,5 A**	54,2 a**	52,7 b	53,4 A**	53,7	51,9	52,8 A**
	K1	40,5 c	36,5 d	38,5 B	46,4 c	40,7 d	43,5 B	47,7	45,8	46,7 B
	K2	37,0 d	35,7 e	36,3 C	35,6 e	30,1 f	32,8 C	37,5	35,8	36,7 C
	Ort.	43,2 A**	39,6 B		45,4 A**	41,1 B		46,3 A**	44,5 B	
2015-2016	K0	52,1 a **	48,1 b	50,1 A**	53,4 a**	51,8 b	52,5 A**	52,5 a**	50,5 b	51,5 A**
	K1	43,1 c	40,6 d	41,8 B	46,2 c	41,7 d	44,0 B	47,1 c	45,3 d	46,2 B
	K2	37,3 e	35,5 f	36,4 C	33,4 e	29,7 f	31,5 C	36,7 e	33,3 f	34,9 C
	Ort.	44,2 A **	41,4 B		44,3 A**	41,1 B		45,4 A**	43,0 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

AS uygulamalarında SPAD değerlerinin yüksek bulunması atık su içerisindeki Fe elementinin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Fe elementi hem kloroplast oluşumu hemde protein artırımında gerekli olduğu için önemi büyüktür (Güneş 2007). Bitki Fe elementi içeriği ile klorofil arasındaki ilişki incelendiğinde Fe'nin artışı ile SPAD değerlerinin doğrusal arttığı görülmektedir (Şekil 4.7). Bitki Fe içeriğinin su kalitesine göre SPAD değerleriyle ilişkisi değerlendirildiğinde de özellikle AS uygulamalarında Fe elementinin SPAD değerlerine etkisinin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Bitki Fe içeriği ile SPAD arasındaki ilişki

4.6.2. Yaprak oransal su içeriği

Bitki yapraklarında bulunan su miktarı ile bitkinin strese duyarlığı arasında bir ilişki bulunmakta yaprak oransal su içeriğinde azalış streste artışı ifade etmektedir (Dhanda and Sethi 2002).

Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama ile geleneksel karık sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında yaprak oransal su içeriğindeki değişimler Çizelge 4.27’ de, varyans analiz sonuçları da EK 23’de verilmiştir.

Çizelge 4.27 incelendiğinde YA ve YÜ yöntemlerinde su kalitesinin yaprak oransal su içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemsiz, GS yönteminde önemli bulunmuştur. Su seviyesinin yaprak oransal su içeriğine etkisi ise her üç yöntemde de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ek 26-31’deki yaprak oransal su içeriği ile bitki su tüketimi ve sulama suyu arasındaki ilişkide tüm sulama yöntemlerinde pozitif doğrusal değişimler olduğunu desteklemektedir. Çamoğlu (2010), mısırd a yaptığı çalışmada, su stresi artışı ile yaprak oransal su içeriğinin azaldığını, yaprak oransal su içeriği ile bitki su tüketimi ve sulama suyu arasında yüksek pozitif doğrusal bir ilişki bulunduğunu bildirmiştir. Ayrıca farklı bitkilerde de yapılan çalışmalarda Ekinci *et al.* (2015) ısıpanak, Sahin *et al.* (2015) marul, Ors *et al.* (2016)’da sakız kabağı bitkisinde sulama suyu seviyesinin artışıyla yaprak oransal su içeriğinin arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.27. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) yaprak oransal su içeriğine (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	87,18 b**	89,78 a	88,5 A**	86,23	86,27	86,3 A**	84,93 a**	84,78 a	84,9 A**
	K1	84,47 c	84,35 c	85,4 B	83,64	83,21	83,4 B	80,47 b	81,24 b	80,9 B
	K2	79,62 d	78,80 d	79,2 C	78,86	78,25	78,6 C	77,56 c	75,19 d	76,4 C
	Ort.	83,76 B*	84,31 A		82,92	82,58		80,99 A*	80,40 B	
2016	K0	90,75 b**	92,57 a	91,7 A**	88,90 b**	89,97 a	89,4 A**	85,44 a**	84,88 a	85,2 A**
	K1	86,00 c	83,33 d	84,7 B	87,49 c	87,24 c	87,4 B	83,84 b	81,01 c	82,4 B
	K2	80,68 e	79,03 f	79,9 C	80,07 d	78,17 e	79,1 C	75,95 d	75,31 d	75,6 C
	Ort.	85,81 A**	84,98 B		85,49	85,13		81,74 A**	80,40 B	
2015-2016	K0	89,0 b**	91,2 a	90,1 A**	87,6 a**	88,1 a	87,8 A**	85,2 a*	84,8 a	85,0 A**
	K1	85,2 c	83,8 d	84,5 B	85,6 b	85,2 b	85,4 B	82,2 b	81,1 c	81,6 B
	K2	80,2 e	78,9 f	79,5 C	79,5 c	78,2 d	78,8 C	76,8 d	75,3 e	76,0 C
	Ort.	84,8	84,6		84,2	83,9		81,4 A**	80,4 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.6.3. Yaprak alan indeksi

Fotosentezin ve transpirasyonun en fazla gerçekleştiği bitki organı olan yaprakların alanı verimde doğrudan etkilidir (Müjdecı vd 2005; Kaplan ve Kara 2014). Bu kapsamda yaprak alan indeksi de verimini önemli belirleyicisi olarak dikkate alınmaktadır (Hamzei and Soltani 2012). Yaprak alanı, su kısıtı, besin elementi eksikliği, su kalitesi, toksik madde gibi birçok etkiye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında yaprak alan indeksindeki değişimler Çizelge 4.28’ de, varyans analiz sonuçları da EK 24’de verilmiştir.

Belirlenen sonuçlara göre YA, YÜ ve GS yöntemlerinde su kalitesinin yaprak alan indeksine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, arıtılmış atık su daha yüksek değerler sağlamıştır (Çizelge 4.28). Bitkilerde azot elementi yaprak alanının gelişimini etkilemektedir (Asgari *et al.* 2007; Al-Khamisi *et al.* 2011). Denemeden elde edilen bitki azot içeriği ile yaprak alan indeksi arasındaki yüksek dereceli pozitif doğrusal korelasyonda ($r=0,953$) bunu desteklemektedir. Dolayısıyla arıtılmış atık su ve arıtılmış atık suyla sulanan topraktaki azot içerikleri AS koşullarında daha yüksek yaprak alan indeksi görülmesinin nedeni olabilir.

Al-Khamisi *et al.* (2011), silajlık mısırdaki atık su uygulamasında yaprak alan indeksinin temiz su uygulamasına göre yaklaşık % 10 oranında fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Mojid *et al.* (2016), buğday bitkisinde en düşük yaprak alan indeksini TS, en yüksek indeksi ise AS konusundan elde ettiğini ve bunun sebebinin de atık sudaki besin elementleri ve organik maddenin yüksek olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Yaprak alan indeksinin yüksek olması hem bitkinin fotosentezini artırdığı hem de bitki yeşil aksamının fazla olması anlamına geldiği için önemlidir. Bu çalışmada da yaprak alan indeksi ile SPAD değerleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayıları $0,881^{**}$ - $0,990^{**}$ arasında değişen yüksek değerlere karşılık gelmiştir (EK 26-31). Ayrıca sulama

seviyesinin yaprak alan indeksine etkisi her üç yöntemde de istatistiksel olarak önemli bulunmuş, su kısıtıyla yaprak alan indeksi önemli derecede azalmıştır. Sulama miktarı veya bitki su tüketimi ile yaprak alanı arasında pozitif doğrusal ilişki önemli olarak belirlenmiştir (EK 26-31). Topraktaki kullanılabilir suyun azalması ile birlikte bitkide fizyolojik oluşumlar etkilenmekte, ilerleyen aşamada ise bitkinin büyümesi durmakta, yaprak alanı ve yaprak sayısı azalmakta hatta yapraklar sarararak dökülmektedir (Korukçu ve Kanber 1981; Öztürk 2015). Birçok araştırmacı, yaptıkları çalışmalarda su kısıtının artması ile yaprak alan indeksi (YAI) değerinin azaldığını bildirmiştir (Farré and Faci 2009; Hamzei and Soltani 2012; Haffani *et al.* 2014).



Çizelge 4.28. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) yaprak alan indeksine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	5,50	5,21	5,36 A**	5,46	5,15	5,31 A**	5,36	5,15	5,25 A**
	K1	4,39	4,20	4,30 B	4,37	4,10	4,24 B	4,39	4,16	4,28 B
	K2	3,15	3,07	3,11 C	3,19	3,01	3,10 C	3,16	2,94	3,05 C
	Ort.	4,34 A*	4,16 B		4,34 A**	4,09 B		4,30 A**	4,08 B	
2016	K0	5,65 a*	5,24 b	5,44 A**	5,49	5,17	5,33 A**	5,47	5,21	5,34 A**
	K1	4,47 c	4,18 d	4,33 B	4,41	4,14	4,28 B	4,42	4,20	4,31 B
	K2	3,20 e	3,15 e	3,18 C	3,22	3,02	3,12 C	3,17	3,03	3,10 C
	Ort.	4,44 A	4,19 B		4,37 A**	4,11 B		4,35 A**	4,14 B	
2015-2016	K0	5,58 a*	5,22 b	5,40 A**	5,48	5,16	5,32 A**	5,41	5,18	5,30 A**
	K1	4,43 c	4,19 d	4,31 B	4,39	4,12	4,26 B	4,40	4,18	4,29 B
	K2	3,18 e	3,11 e	3,14 C	3,20	3,02	3,11 C	3,17	2,98	3,07 C
	Ort.	4,39 A**	4,17 B		4,36 A**	4,10 B		4,33 A**	4,11 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: $p<0,05$ **: $p<0,01$

4.6.4. Membran zararlanma indeksi

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında membran zararlanma indeksindeki değişimler Çizelge 4.29' da, varyans analiz sonuçları da EK 25'de verilmiştir.

YA, YÜ ve GS yöntemlerinde sulama seviyesinin ve su kalitesinin membran zararlanmasına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, artan kısıt zararlanmayı artırmış, atık suyla sulama koşullarında daha yüksek değerler görülmüştür (Çizelge 4.29). Sağlam (2004) ve Kuşvuran (2010) çözünmüş madde miktarının özellikle tuzların artışı ile hücre membranlarının zarar gördüğünü bildirmiştir. Su stresi altında bitkinin yaprak su oranının azalması ile stomalar kapanmakta, yaprak sıcaklığı artış göstermektedir. Bu artışla birlikte hücre membran sistemleri zarar görmekte ve hücre ölümleri gerçekleşmektedir (Dolferus 2014; Öztürk 2015). Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda membran zararlanmasının su kaybı ve su stresi ile arttığını bildirmişlerdir (Kocheva *et al.* 2004; Çelik 2014; Pıtır 2015; Cakmakci *et al.* 2017; Yarış 2018). Yakıt ve Tuna (2006), mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada tuz stresi ile mısır bitkisinde membran geçirgenliğinin arttığını, bağıl su içeriğinin ise azaldığını bildirmişlerdir.

Tüm sulama yöntemlerinde yaprak oransal su içeriği ile membran zararlanma indeksi arasında yüksek derecede negatif doğrusal korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir (Ek 26-31). Ekinci *et al.* (2015), ıspanak bitkisinde yaptığı çalışmada YOSİ ile MZİ arasında negatif doğrusal bir ilişkinin olduğu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.29. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların (su kalitesi ve sulama seviyesi) membran zararlanma indeksine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	12,7	10,5	11,6 C **	14,5	12,8	13,7 C**	19,4 d*	16,2 e	17,8 C**
	K1	20,2	18,9	19,5 B	19,2	19,4	19,3 B	23,8 b	21,4 c	22,6 B
	K2	26,4	26,3	36,3 A	29,0	27,9	20,4 A	30,9 a	30,0 a	30,5 A
	Ort.	19,8 A**	18,5 B		20,9 A*	20,0 B		24,7 A**	22,5 B	
2016	K0	14,0	11,9	12,9 C**	16,0	13,9	14,9 C**	20,5 e**	15,1 f	17,8 C**
	K1	18,8	17,1	18,0 B	19,6	18,6	19,1 B	25,2 c	22,2 d	23,7 B
	K2	25,6	25,2	26,4 A	30,9	29,4	30,1 A	34,9 a	31,7 b	33,3 A
	Ort.	20,1 A**	18,1 B		22,1 A**	20,6 B		26,9 A**	23,0 B	
2015-2016	K0	13,3	11,2	12,3 C**	15,3 d*	13,3 e	14,3 C **	20,0 e**	15,7 f	17,8 C**
	K1	19,5	18,0	18,7 B	19,4 c	19,0 c	19,2 B	24,5 c	21,8 d	23,1 B
	K2	27,0	25,7	26,4 A	29,9 a	28,7 b	29,3 A	32,9 a	30,9 b	31,9 A
	Ort.	19,9 A**	18,3 B		21,5 A**	20,3 B		25,8 A**	22,8 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.7. Toprak Özelliklerindeki Değişimler

Temiz ve arıtılmış atık suyun, toprak kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla her iki deneme yılında hasat sonrasında kimyasal ve fiziksel özellikler için 20 cm'lik katmanlar halinde 40 cm'ye kadar iki katmandan, hidrolik özellikler için de 0-30 cm'lik tek katmandan toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinde pH, elektriksel iletkenlik (EC), CaCO_3 , organik madde, kation değişim kapasitesi (KDK), değişebilir kasyonlar (Ca, Mg, Na, K), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), toplam N, fosfor (P_2O_5), potasyum (K_2O), makro, mikro element ve ağır metal içerikleri, özgül ağırlık, hacim ağırlığı, porozite, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi (TK) ve devamlı solma noktasında (SN) tutulan su miktarları ile yarayışlı su miktarları belirlenmiştir.

Her bir sulama yönteminde ölçülen parametreler için yapılan bağımsız örnekler testine göre 0-20 ve 20-40 cm toprak katmanları arasındaki fark, parametrelerin çoğunda önemsiz (Ek 63) bulunmuş, değerlendirmeler katman ortalamaları dikkate alınarak yapılmıştır. Katmanlar farkı önemli olan parametreler için de ayrı ayrı değerlendirmeler ilgili parametrelerde dikkate alınmıştır.

4.7.1. Toprakların kimyasal özellikleri

Deneme topraklarının her iki yılına ait pH, EC, CaCO_3 , organik madde, KDK, değişebilir kasyonlar (Ca, Mg, Na, K), ESP, toplam N, P_2O_5 , K_2O , makro, mikro elementler ve ağır metal içerikleri Çizelge 4.30-45, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları ise EK 32-53' verilmiştir.

Denemenin her üç sulama yönteminde de su kalitesinin toprak pH'sı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0,01$), su kısıtının etkisi ise önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.30, EK 32).

AS uygulamalarında TS'ye kıyasla daha düşük pH değerleri elde edilmiştir. Deneme öncesi pH değerlerine göre de genel olarak düşüş olduğu, AS konularında bu durumun daha belirgin olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 3.2). AS uygulamalarında pH'ın daha düşük olmasının sebebinin atık su içerisinde bulunan azotun toprakta birikiminden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.40). Vazquezmontiel *et al.* (1996) ve Mohammad and Mazahreh (2003), amonyum nitrifikasyonunun toprak pH'sını azaltmaya yol açabilecek hidrojen iyonlarının kaynağı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Vaseghi *et al.* (2005) atık su ile sulanan topraklarda organik madde ve organik asitlerin ayrıştığını ve bunun da pH'yı düşürdüğünü belirtmişlerdir. Yapılan birçok çalışmada da arıtılmış atık su uygulamasıyla toprak pH'sında azalmalar meydana geldiği bildirilmiştir (Maral 2010; Mojiri and Hamidi 2011; Singh *et al.* 2012; Bedbabis *et al.* 2014; Cicek *et al.* 2013; Tunc and Sahin 2016; Elfanssi *et al.* 2018; Zhang *et al.* 2018).

Tüm uygulamalarda orta derecede alkalın (7,9-8,4) grubunda yer alan topraklarda besin maddelerinin elverişliliği konusunda sorun yaşanmayacağı söylenebilir (Sezen 1995).

Her üç yöntemde su kalitesi ve sulama seviyesinin EC değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur (Ek 33). En yüksek EC değerleri her üç yöntemde de arıtılmış atık suyun tam sulama konusundan elde edilmiştir (Çizelge 4.31). Arıtılmış atık su uygulamasında deneme sonrası değerler tüm yöntemlerde başlangıç değerlerinin yaklaşık 3 katı seviyelerine çıkmıştır (Çizelge 3.2 ve Çizelge 4.31). Arıtılmış atık su uygulamalarında EC değerinin yüksek bulunması atık suyun temiz suya kıyasla daha fazla tuz içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Birçok araştırmacı, yaptıkları çalışmalarda atık su uygulamasıyla toprakların EC değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir (Amiri *et al.* 2009; Gupta *et al.* 2012; Ladwani *et al.* 2012; Üzen 2014; Demir and Sahin 2017; Biswas *et al.* 2017; Farahat *et al.* 2017; Elfanssi *et al.* 2018).

Yöntemler arasında en yüksek EC değeri GS sulama yönteminde belirlenmiş olup sırasıyla YA ve YÜ sulama yöntemleri takip etmiştir. Arıtılmış atık su uygulamalarında GS sulama yönteminde YA ve YÜ yöntemlerine göre sırasıyla % 13,0 ve % 19,4 oranında

daha yüksek EC değeri belirlenmiştir. GS sulama yönteminde uygulanan sulama suyu miktarının fazlalığı sulama suyuyla toprağa daha fazla tuz girişi sağlamış olabilir (Çizelge 4.3 ve 4.4).

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde su kalitesi ve sulama seviyesinin topraktaki organik madde içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur (EK 34). Organik madde içeriği en yüksek GS sulama yönteminde arıtılmış atık su uygulanan konudan elde edilmiştir (Çizelge 4.32). Arıtılmış atık su koşullarında, GS sulama yönteminden YA ve YÜ sulama yöntemine göre sırasıyla % 2,8 ve % 5,8 oranında daha yüksek organik madde içeriği belirlenmiştir. AS ile tam sulamada organik madde içeriği toprağın başlangıç değerlerine göre de % 50'den fazla artışa işaret etmektedir. Bu artışlar toprak organik maddesini çok az sınıftan az sınıfına yükseltmiştir (Sezen 1995). AS uygulamalarında organik maddenin artmasının atık suyun BOİ ve KOİ içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Bedbabis *et al.* (2015), atık su uygulanan topraklarda suyun BOİ ve KOİ'sinin etkisiyle toprak organik maddenin arttığını bildirmiştir. Birçok araştırmacı yürütmüş oldukları çalışmalarda arıtılmış atık suların sulamada kullanımıyla toprakların organik madde içeriğinde artışlar olduğunu bildirmişlerdir (Bhardwaj *et al.* 2007; Kiziloglu *et al.* 2007; Jahantigh 2008; Mojiri and Hamidi 2011; Najafi and Nasr 2011; Elfansi *et al.* 2018). Yine atık suyla sulama koşullarında daha iyi bitki gelişimine bağlı olarak artan bitki artıklarının da organik maddeye katkısının olduğu düşünülmektedir.

Toprak pH'sının arıtılmış atık su uygulamalarında düşmesi aynı zamanda organik maddenin yükselmesi ile ilişkili olabilir. Galavi *et al.* (2010)'da topraklarda organik madde artışının toprak pH'sını azalttığını ifade etmişlerdir.

Her iki su kalitesinde de sulama suyu miktarının azalması ile organik madde içeriği de azalış göstermiştir. Sulama miktarının azalışıyla organik maddenin azalmasının daha zayıf bitki gelişimine bağlı toprakta daha az bitkisel kalıntı birikiminin bir sonucu olabilir. AS koşullarında organik maddede daha fazla düşüşünün olması su kısıtıyla daha az çözünmüş organik maddenin toprağa girmesiyle açıklanabilir (Çizelge 4.1 ve 4.2).

Çizelge 4.30. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda pH'ya etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	7,99	8,05	8,02	8,01	8,06	8,04	8,04	8,00	8,02 C*
		K1	8,02	8,03	8,03	8,02	8,02	8,02	8,04	8,09	8,06 B
		K2	8,05	8,06	8,05	8,05	8,05	8,05	8,06	8,11	8,09 A
		Ort.	8,02	8,05		8,03	8,04		8,05	8,07	
	2016	K0	7,97	8,06	8,01	7,95	7,93	7,94	7,98	7,98	7,98
		K1	8,00	8,07	8,03	7,98	7,97	7,97	7,98	8,01	8,00
		K2	8,04	8,03	8,04	8,00	8,01	8,01	7,99	8,04	8,01
		Ort.	8,00 B*	8,05 A		7,98	7,97		7,99	8,01	
	2015-2016	K0	7,98	8,06	8,02	7,98	8,00	8,00	8,02	7,99	8,00
		K1	8,01	8,05	8,03	8,00	8,00	8,00	8,01	8,05	8,03
		K2	8,04	8,05	8,04	8,03	8,03	8,03	8,03	8,07	8,05
		Ort.	8,01 B*	8,05 A		8,00	8,01		8,02	8,04	
II	2015	K0	7,96	8,09	8,02	7,98	8,12	8,05	8,03	8,11	8,07
		K1	7,99	8,10	8,05	8,03	8,13	8,08	8,02	8,13	8,07
		K2	8,04	8,11	8,08	8,02	8,06	8,04	8,06	8,13	8,10
		Ort.	7,00 B**	8,10 A		8,01 B**	8,10 A		8,04 B**	8,13 A	
	2016	K0	7,91	8,08	7,99	7,89	8,09	7,99	8,03	8,03	8,03
		K1	7,86	8,08	7,97	7,96	7,99	7,97	8,01	8,07	8,04
		K2	8,00	8,06	8,03	7,98	8,08	8,03	8,02	8,14	8,08
		Ort.	7,92 B*	8,07 A		7,94 B*	8,05 A		8,02	8,08	
	2015-2016	K0	7,93	8,08	8,01	7,94	8,10	8,02	8,03	8,03	8,03
		K1	7,93	8,09	8,01	7,99	8,06	8,03	8,01	8,07	8,04
		K2	8,02	8,08	8,05	8,00	8,07	8,04	8,02	8,14	8,08
		Ort.	7,96 B**	8,09 A		7,98 B**	8,08 A		8,02	8,08	
I-II	2015-2016	K0	7,96	8,07	8,01	7,96	8,05	8,00	8,03	8,03	8,03
		K1	7,97	8,07	8,02	8,00	8,03	8,01	8,01	8,07	8,04
		K2	8,03	8,06	8,04	8,02	8,05	8,03	8,04	8,11	8,07
		Ort.	7,99 B**	8,07 A		7,99 B**	8,04 A		8,02 B**	8,07 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.31. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında elektriksel iletkenliğe (dS/m) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,546 a**	0,417 b	0,482 A**	0,580 a**	0,457 c	0,518 A**	0,703 a**	0,470 c	0,587 A**
		K1	0,430 b	0,363 c	0,397 B	0,503 b	0,383 d	0,443 B	0,587 b	0,443 c	0,515 B
		K2	0,327 d	0,273 e	0,300 C	0,340 e	0,287 f	0,313 C	0,387 d	0,310 e	0,348 C
		Ort.	0,434 A**	0,351 B		0,474 A**	0,376 B		0,559 A**	0,408 B	
	2016	K0	0,637 a**	0,423 c	0,530 A**	0,593	0,477	0,535 A**	0,753 a**	0,490 c	0,622 A**
		K1	0,467 b	0,343 d	0,405 B	0,507	0,403	0,455 B	0,627 b	0,437 d	0,532 B
		K2	0,337 d	0,280 e	0,308 C	0,347	0,303	0,325 C	0,410 d	0,323 e	0,367 C
		Ort.	0,480 A**	0,349 B		0,482 A**	0,394 B		0,597 A**	0,417 B	
	2015-2016	K0	0,592 a**	0,420 c	0,506 A**	0,587 a**	0,467 c	0,527 A**	0,728 a**	0,480 c	0,604 A**
		K1	0,448 b	0,353 d	0,401 B	0,505 b	0,393 d	0,449 B	0,607 b	0,440 d	0,523 B
		K2	0,332 d	0,277 e	0,304 C	0,343 e	0,295 f	0,319 C	0,398 e	0,317 f	0,358 C
		Ort.	0,457 A**	0,350 B		0,478 A**	0,385 B		0,578 A**	0,412 B	
II	2015	K0	0,603 a**	0,433 c	0,518 A**	0,577 a*	0,457 b	0,507 A**	0,657 a**	0,450 c	0,553 A**
		K1	0,457 b	0,390 d	0,423 B	0,467 b	0,383 c	0,425 B	0,550 b	0,427 d	0,488 B
		K2	0,403 d	0,307 e	0,355 C	0,333 d	0,270 e	0,302 C	0,363 e	0,307 f	0,335 C
		Ort.	0,489 A**	0,377 B		0,452 A**	0,370 B		0,523 A**	0,394 B	
	2016	K0	0,783 a**	0,430 c	0,607 A**	0,577 a*	0,468 b	0,522 A**	0,713 a**	0,473 c	0,593 A**
		K1	0,517 b	0,357 d	0,437 B	0,490 b	0,423 c	0,457 B	0,587 b	0,397 d	0,492 B
		K2	0,430 c	0,303 e	0,367 C	0,333 d	0,290 e	0,312 C	0,383 d	0,313 e	0,348 C
		Ort.	0,577 A**	0,363 B		0,467 A**	0,393 B		0,561 A**	0,394 B	
	2015-2016	K0	0,693 a**	0,432 c	0,563 A**	0,567 a*	0,462 b	0,514 A**	0,685 a**	0,462 c	0,593 A**
		K1	0,487 b	0,373 d	0,430 B	0,478 b	0,403 c	0,441 B	0,568 b	0,412 d	0,490 B
		K2	0,417 c	0,305 e	0,361 C	0,333 d	0,280 e	0,307 C	0,373 e	0,310 f	0,342 C
		Ort.	0,532 A**	0,370 B		0,459 A**	0,382		0,542 A**	0,394 B	
I-II	2015-2016	K0	0,642 a**	0,425 c	0,530 A**	0,576 a**	0,464 c	0,520 A**	0,707 a**	0,471 c	0,588 A**
		K1	0,467 b	0,363 d	0,415 B	0,492 b	0,398 d	0,455 B	0,588 b	0,426 d	0,507 B
		K2	0,374 d	0,291 e	0,333 C	0,338 e	0,288 f	0,313 C	0,386 e	0,313 f	0,350 C
		Ort.	0,495 A**	0,360 B		0,469 A**	0,383 B		0,560 A**	0,403 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.32. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında organik maddeye (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	1,59 a**	1,31 b	1,45 A**	1,37	1,25	1,31 A**	1,48	1,27	1,38 A**
		K1	1,35 b	1,14 c	1,25 B	1,31	1,21	1,26 B	1,37	1,21	1,29 B
		K2	1,16 c	1,08 d	1,12 C	1,01	0,95	0,98 C	0,96	0,86	0,91 C
		Ort.	1,36 A**	1,18 B		1,23 A**	1,13 B		1,27 A**	1,11 B	
	2016	K0	1,83 a**	1,43 c	1,63 A**	1,45 a*	1,27 b	1,36 A**	1,69 a**	1,32 c	1,50 A**
		K1	1,62 b	1,31 d	1,47 B	1,40 a	1,23 b	1,31 B	1,58 b	1,16 d	1,37 B
		K2	1,26 d	1,22 e	1,24 C	1,11 c	1,04 d	1,08 C	1,00 e	1,01 e	1,01 C
		Ort.	1,57 A**	1,32 B		1,32 A**	1,18 B		1,42 A**	1,16 B	
	2015-2016	K0	1,71 a**	1,37 c	1,54 A**	1,53 a**	1,30 c	1,42 A**	1,59 a**	1,29 c	1,44 A**
		K1	1,49 b	1,23 d	1,36 B	1,49 b	1,25 bc	1,37 B	1,48 b	1,18 d	1,33 B
		K2	1,21 d	1,15 e	1,18 C	1,21 c	1,14 d	1,17 C	0,98 e	0,94 e	0,96 C
		Ort.	1,47 A**	1,25 B		1,41 A**	1,23 B		1,35 A**	1,14 B	
II	2015	K0	1,51 a*	1,41 b	1,46 A**	1,59 a**	1,37 c	1,48 A**	1,75 a**	1,48 c	1,62 A**
		K1	1,42 b	1,27 c	1,34 B	1,44 b	1,30 d	1,37 B	1,56 b	1,34 d	1,45 B
		K2	1,18 d	1,15 d	1,16 C	1,19 e	1,15 e	1,17 C	1,20 e	1,11 e	1,15 C
		Ort.	1,37 A**	1,27 B		1,40 A**	1,27 B		1,50 A**	1,31 B	
	2016	K0	1,64 a*	1,49 b	1,57 A**	1,71	1,48	1,60 A**	2,01 a**	1,49 c	1,75 A**
		K1	1,47 b	1,35 c	1,41 B	1,58	1,39	1,49 B	1,79 b	1,36 d	1,57 B
		K2	1,19 d	1,20 d	1,20 C	1,30	1,20	1,25 C	1,25 e	1,18 f	1,21 C
		Ort.	1,40 A**	1,35 B		1,53 A**	1,36 B		1,68 A**	1,34 B	
	2015-2016	K0	1,58 a**	1,45 b	1,51 A**	1,65 a**	1,43 c	1,54 A**	1,88 a**	1,48 c	1,68 A**
		K1	1,44 b	1,31 c	1,38 B	1,51 b	1,35 d	1,43 B	1,67 b	1,35 d	1,51 B
		K2	1,19 d	1,17 d	1,18 C	1,24 e	1,18 f	1,21 C	1,22 e	1,14 f	1,18 C
		Ort.	1,40 A**	1,31 B		1,47 A**	1,32 B		1,59 A**	1,33 B	
I-II	2015-2016	K0	1,64 a**	1,41 c	1,52 A**	1,55 a**	1,35 c	1,45 A**	1,73 a**	1,39 c	1,56 A**
		K1	1,47 b	1,27 d	1,37 B	1,45 b	1,29 d	1,37 B	1,57 b	1,27 d	1,42 B
		K2	1,20 e	1,16 f	1,18 C	1,18 e	1,11 f	1,14 C	1,10 e	1,04 f	1,07 C
		Ort.	1,43 A**	1,28 B		1,39 A**	1,25 B		1,47 A**	1,23 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Tüm yöntemlerde su kalitesinin ve su kısıtının CaCO_3 içeriğine etkisi önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (EK 35). Her iki katmanda da (0-20 ve 20-40 cm) en düşük kireç içerikleri AS uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.33). Kiziloglu *et al.* (2008), atık su uyguladıkları topraklarda kireç içeriğinde düşüşler olduğunu bildirmişlerdir. AS uygulamalarında toprakların kireç içeriği azalışının pH azalması (Çizelge 4.30) ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Demir (2010)'ın atık suyla sulama koşullarında yürüttüğü çalışmada da pH ile kireç içeriğinin ilişkili olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Turan vd (2010) ve Dizikisa (2014)'da toprakların kireç içeriği ile pH arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Sadece YA sulama yönteminde katmanlar arası fark önemli bulunmuş ve ikinci katmanda da (20-40 cm) daha düşük kireç içeriği belirlenmiştir (EK 63). Bu durumun yüzey altı damla sulamada suyun ikinci katmana doğrudan uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca toprakların kireç içeriği özellikle AS konularında başlangıç toprak içeriğinin altında seyretmiştir (Çizelge 3.2). Ancak tüm uygulamalarda toprak kireç içeriği başlangıçtaki gibi kireçli sınıfta yer almıştır (Sezen 1995).

Çizelge 4.34 incelendiğinde YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde sulama suyu kalitesi ve sulama suyu seviyesinin toprak KDK'sına etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (EK 36). En yüksek KDK, AS uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.34). AS uygulamalarında yüksek belirlenmesinin, atık sudaki inorganik maddelerden ve atık suyla sulanmış toprakta organik maddenin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelgeler 4.1, 4.2 ve 4.32). Roy and Gupta (2016), atık suyla sulamada organik maddenin artmasıyla KDK'nın da arttığını belirtmişlerdir. Yine birçok araştırmacı, çalışmalarında atık su uygulamaları ile topraktaki KDK'nın arttığını bildirmiştir (Jahantigh 2008; Khurana and Singh 2012; Sou *et al.* 2013; Cicek *et al.* 2013; Aydın *et al.* 2015). Bununla birlikte, değişebilir katyonların AS uygulamalarında daha yüksek belirlenmesi de bu durumu desteklemektedir (Çizelge 4.35-38). Başlangıç değerlerine göre deneme sonrasında KDK değerleri de özellikle AS uygulamalarında artışın, organik maddeden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.32).

Bütün sulama yöntemlerinde su kısıtının artışıyla KDK'da azalmalar görülmüş atık suyla sulama koşullarında bu azalışlar daha belirgin olmuştur. Bu değişimin organik madde azalışıyla açıklanması söz konusu olabilir (Çizelge 4.32). Cicek *et al.* (2013) ve Demir (2016)'de atık suyla sulama koşullarında sulama miktarının azalması ile KDK'da azalışlar belirlemişlerdir.

Değişebilir Ca içeriğine su kalitesi ve sulama suyu seviyesinin etkisi YA ve GS sulama yöntemlerinde önemli ($p<0,01$) iken YÜ yönteminde sadece sulama miktarının etkisi önemli bulunmuştur. Değişebilir Mg, Na ve K içeriğinde de su kalitesine ve miktarına bağlı önemli ($p<0,01$) değişimler belirlenmiştir (EK 37-40). Su miktarıyla değişen katyon içeriklerinin azalmış olması daha az su ile daha az Ca, Mg, Na ve K girişiyle açıklanabilir. Düşük pH koşullarında kirecin çözünürlüğünün artması Ca içeriğini ayrıca artırmış olabilir. Kalsiyum, Mg ve Na YA sulama yönteminde daha fazla belirlenmiştir. Na'un özellikle GS sulama yöntemlerinde YA sulama yöntemine göre az birikmiş olması, bu iyonun daha alt katmanlara yıkanmış olduğu şeklinde değerlendirilebilir. Magnezyumun YA sulama yönteminde daha fazla belirlenmiş olması Ca birikimi ile ilişkilendirilebilir. Taşkın vd (2015), yaptıkları çalışmada topraklardaki kalsiyum konsantrasyonu ile Mg konsantrasyonu arasında önemli pozitif ilişkiler olduğunu bildirmişlerdir. YA sulamada başlangıç değerlerinden (Çizelge 3.2) daha yüksek Ca, Mg ve Na değerlerinin görülmesi bu yöntemde doğrudan kök bölgesine verilen suyun özellikle atık suyun Ca, Mg ve Na içeriklerinden kaynaklanmış olduğu söylenebilir. YÜ ve GS sulama yönteminde ise başlangıç değerlerine yakın veya altında olması Ca ve Mg'nin bitki beslenmesinde etkin bir şekilde kullanımının bir göstergesi ya da bu iyonların daha alt katmanlarda birikmiş olabileceği şeklinde değerlendirilebilir. Yapılan birçok çalışmada, atık su uygulaması ile değişebilir katyon içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Singh *et al.* 2009; Alghobar and Suresha 2016; Silva *et al.* 2016).

Potasyumun GS sulama yönteminde daha fazla belirlenmiş olması daha fazla suyla daha fazla K girişi ve ayrıca K'nın yıkanma direnci nedeniyle üst katmanlarda kalmış olmasıyla açıklanabilir. Özbek vd (1993), K'un yıkanmasının Ca ve Mg'a göre düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.33. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında CaCO₃'e (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	10,03 d**	10,93 c	10,48 C**	9,96 c**	10,96 b	10,43 C**	10,01 c**	9,82 c	9,92 C**
		K1	10,31 d	11,18 c	10,75 B	10,18 c	11,04 b	10,61 B	11,08 b	10,94 b	11,01 B
		K2	11,49 ab	11,57 a	11,53 A	11,23 a	11,34 a	11,29 A	11,16 b	11,89 a	11,53 A
		Ort.	10,61 B**	11,23		10,46 B**	11,10 A		10,75 B**	10,88 A	
	2016	K0	9,91 c**	10,79 b	10,35 C**	10,08	10,95	10,51 C**	10,26	10,49	10,38 C**
		K1	10,00 c	11,36 b	10,68 B	10,49	11,13	10,81 B	10,85	11,15	11,00 B
		K2	11,64 d	11,41 a	11,53 A	11,15	11,47	11,31 A	12,26	12,60	12,43 A
		Ort.	10,52 B**	11,19 A		10,57 B**	11,18		11,13 B**	11,41 A	
	2015-2016	K0	9,97 c**	10,86 b	10,41 C**	10,02 d**	10,93 b	10,47 C**	10,14 d**	10,15 d	10,15 C**
		K1	10,16 c	11,27 a	10,71 B	10,34 c	11,08 b	10,71 B	10,97 c	11,04 c	11,01 B
		K2	11,57 a	11,49 a	11,53 A	11,19 ab	11,41 a	11,30 A	11,71 b	12,25 a	11,98 A
		Ort.	10,56 B**	11,21 A		10,52 B**	11,14 A		10,94 B**	11,15 A	
II	2015	K0	9,15 d**	10,76 b	9,96 C**	10,63	11,91	11,27 C**	10,51 d**	10,51 d	10,51 C**
		K1	10,02 c	11,07 a	10,54 B	11,06	12,55	11,80 B	12,09 b	11,45 c	11,77 B
		K2	11,30 a	11,24 a	11,27 A	12,47	13,69	13,08 A	13,66 a	13,93 a	13,80 A
		Ort.	10,16 B**	11,02		11,39 B**	12,72 A		13,09	11,97	
	2016	K0	8,88 d**	10,10 c	9,49 C**	10,61	11,54	11,08 C**	11,09 e*	11,23 e	11,16 C**
		K1	9,30 c	10,86 b	10,23 B	11,23	12,22	12,73 B	11,98 d	12,65 c	12,32 B
		K2	11,37 a	11,15 b	11,26 A	12,29	13,30	12,79 A	13,38 b	14,18 a	13,78 A
		Ort.	9,95 B**	10,70 A		11,38 B	12,35 A		12,15 B**	12,69 A	
	2015-2016	K0	9,02 e**	10,43 c	9,72 C**	10,62	11,73	11,17 C**	10,80 d**	10,87 d	10,84 C**
		K1	9,81 d	10,97 b	10,39 B	11,14	12,39	11,76 B	12,04 c	12,05 c	12,04 B
		K2	11,34 a	11,19 b	11,27 A	12,38	13,49	12,94 A	13,52 b	14,06 a	13,79 A
		Ort.	10,06 B**	10,89 A		11,38 B**	12,53 A		12,12 B**	12,33 A	
I-II	2015-2016	K0	9,49 e**	10,65 c	10,07 C**	10,32	11,33	10,82 C**	10,47 d**	10,51 d	10,49 C**
		K1	9,98 d	11,12 b	10,55 B	10,74	11,73	11,24 B	11,50 c	11,55 c	11,52 B
		K2	11,45 a	11,34 a	11,40 A	11,79	12,45	12,12 A	12,62 b	13,15 a	12,88 A
		Ort.	10,31 B**	11,04 A		10,95 B**	11,84 A		11,53 B**	11,74 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.34. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında KDK (cmol/kg)'ya etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	25,87 a**	25,34 b	25,60 A**	21,96 a**	21,15 b	21,55 A**	19,36 a**	19,27 a	19,32 A**
		K1	23,92 c	23,22 d	23,57 B	19,95 d	20,32 c	20,14 B	18,49 b	18,32 b	18,40 B
		K2	23,37 d	21,34 e	22,35 C	19,30 e	19,32 e	19,31 C	16,88 d	17,82 c	17,35 C
		Ort.	24,38 A**	23,30 B		20,40	20,26		18,24 B**	18,47 A	
	2016	K0	26,61 a**	25,66 b	26,13 A**	22,25 a**	21,78 b	22,01 A**	22,73 a**	21,32 b	22,02 A**
		K1	25,00 c	23,77 d	24,39 B	19,88 c	19,72 d	19,80 B	19,79 c	18,90 d	19,35 B
		K2	22,30 e	21,68 f	21,99 C	17,35 f	17,60 e	17,47 C	16,57 f	18,03 e	17,30 C
		Ort.	24,64 A**	23,70 B		19,83 A*	19,70 B		19,70 A**	19,42 B	
	2015-2016	K0	26,24 a**	25,50 b	25,87 A**	22,10 a**	21,46 b	21,78 A**	21,05 a**	20,30 b	20,67 A**
		K1	24,46 c	23,50 d	23,98 B	19,92 c	20,02 c	19,97 B	19,14 c	18,61 d	18,87 B
		K2	22,84 e	21,51 f	22,17 C	18,32 d	18,46 d	18,39 C	16,73 f	17,93 e	17,33 C
		Ort.	24,51A**	23,50 B		20,11 A*	19,98 B		18,97	18,94	
II	2015	K0	25,56 a**	24,76 b	25,16 A**	20,47 a**	20,14 b	20,31 A**	19,93 a**	17,49 c	18,71 A**
		K1	24,40 c	24,34 c	24,37 B	19,77 c	18,45 e	19,11 B	17,97 b	18,87 b	17,92 B
		K2	22,61 d	22,17 e	22,39 C	19,05 d	19,01 d	19,03 C	16,00 e	16,38 d	16,19 C
		Ort.	24,19 A**	23,76 B		19,76 A**	19,20 B		17,97 A**	17,24 B	
	2016	K0	26,69 a**	24,77 c	25,73 A**	20,95 a**	20,60 b	20,77 A**	21,63 a**	20,18 b	20,19 A**
		K1	25,58 b	23,81 d	24,70 B	18,15 d	18,68 c	18,42 B	19,22 c	17,99 d	18,61 B
		K2	22,83 e	22,11 f	22,47 C	15,94 f	16,67 e	16,31 C	15,72 f	17,12 e	16,42 C
		Ort.	25,03 A**	23,56 B		18,35 B**	18,65 A		18,86 A**	18,43 B	
	2015-2016	K0	26,12 a**	24,77 c	25,45 A**	20,71 a**	20,37 b	20,54 A**	20,78 a**	18,84 b	19,81 A**
		K1	24,99 b	24,08 d	24,53 B	18,96 c	18,56 d	18,76 B	18,60 c	17,93 d	18,26 B
		K2	22,72 e	22,14 f	22,43 C	17,50 f	17,84 e	17,67 C	15,86 f	16,75 e	16,31 C
		Ort.	24,61 A**	23,66 B		19,06 A**	18,92 B		18,41 A**	17,84 B	
I-II	2015-2016	K0	26,18	25,13	25,66 A**	21,41 a**	20,92 b	21,16 A**	20,92 a**	19,27 b	20,24 A**
		K1	24,72	23,79	24,26 B	19,44 c	19,29 d	19,37 B	18,87 c	18,27 d	18,57 B
		K2	22,78	21,82	22,30 C	17,91 f	18,15 e	18,03 C	16,29 f	17,34 e	16,82 C
		Ort.	24,56 A**	23,58 B		19,59 A**	19,45 B		18,69 A**	18,39 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.35. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında değişebilir Ca (cmol/kg) içeriğine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	18,09 a**	17,81 b	17,95 A**	16,73 a**	15,96 b	16,35 A**	13,37 b**	13,89 a	13,63 A**
		K1	16,93 c	16,45 d	16,69 B	14,88 d	15,29 c	15,08 B	13,20 bc	13,33 b	13,27 B
		K2	16,17 e	15,13 f	15,65 C	14,47 e	15,11 cd	14,79 C	12,56 d	13,11 c	12,84 C
		Ort.	17,06 A**	16,47 B		15,36	15,45		13,04 B**	13,44 A	
	2016	K0	18,70 a**	18,14 b	18,42 A**	16,27 a**	16,13 b	16,20 A**	16,49 a**	15,45 b	15,97 A**
		K1	17,78 c	16,98 d	17,38 B	15,03 c	14,62 d	14,82 B	14,14 c	14,10 c	14,12 B
		K2	15,83 e	15,55 f	15,69 C	12,71 f	13,17 e	12,94 C	12,44 e	13,70 d	13,07 C
		Ort.	17,44 A**	16,89 B		14,67	14,64		14,36 A**	14,42 B	
	2015-2016	K0	18,40 a*	17,98 b	18,19 A**	16,50 a**	16,05 b	16,27 A**	14,93 a**	14,67 b	14,80 A**
		K1	17,36 c	16,72 d	17,04 B	14,95 c	14,95 c	14,95 B	13,67 c	13,72 c	13,69 B
		K2	16,00 e	15,34 f	15,67 C	13,59 e	14,14 d	13,87 C	12,50 e	13,41 d	12,95 C
		Ort.	17,25 A**	16,68 B		15,01	15,05		13,70 B**	13,93 A	
II	2015	K0	17,87 a**	17,67 b	17,77 A**	15,26 a**	14,98 bc	15,12 A**	14,33 a**	12,52 d	13,43 A**
		K1	17,59 c	17,67 b	17,63 B	14,91 c	13,72 e	14,31 C	12,83 c	13,13 b	12,98 B
		K2	16,39 d	15,87 e	16,13 C	14,34 d	15,04 b	14,69 B	12,02 e	12,50 d	12,26 C
		Ort.	17,28 A**	17,07 B		14,84 A**	14,58 B		13,06 A**	12,72 B	
	2016	K0	18,79 a**	17,89 c	18,34 A**	15,57 a**	15,39 b	15,48 A**	15,77 a**	14,95 b	15,36 A**
		K1	18,38 b	17,04 d	17,71 B	13,69 d	13,98 c	13,84 B	14,13 c	13,66 d	13,89 B
		K2	16,44 e	15,77 f	16,11 C	12,01 f	12,83 e	12,42 C	12,03 f	13,26 e	12,64 C
		Ort.	17,87 A**	16,90 B		13,76 B**	14,07 A		13,97	13,96	
	2015-2016	K0	18,33	17,78	18,06 A**	15,42 a	15,19 b	15,30 A	15,05 a**	13,74 b	14,40 A**
		K1	17,99	17,36	17,67 B	14,30 c	13,85 e	14,08 B	13,48 c	13,40 d	13,44 B
		K2	16,42	15,82	16,12 C	13,18 f	13,94 d	13,56 C	12,03 f	12,88 e	12,45 C
		Ort.	17,58 A**	16,99 B		14,30	14,32		13,52 A**	13,34 B	
I-II	2015-2016	K0	18,36 a**	17,88 b	18,12 A**	15,96 a**	15,62 b	15,79 A**	14,90 a**	14,20 b	14,60 A**
		K1	17,67 c	17,04 d	17,36 B	14,63 c	14,40 d	14,52 B	13,58 c	13,55 c	13,57 B
		K2	16,21 e	15,58 f	15,90 C	13,38 f	14,04 e	13,71 C	12,26 e	13,14 d	12,70 C
		Ort.	17,42 A**	16,83 B		14,66	14,69		13,61 B*	13,63 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.36. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanında değişebilir Mg (cmol/kg) içeriğine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	6,06	5,81	5,94 A**	3,66 a	3,61 a	3,64 A**	3,93 a**	3,47 b	3,70 A**
		K1	5,49	5,29	5,39 B	3,59 a	3,61 a	3,60 B	3,36 bc	3,15 d	3,27 B
		K2	4,84	4,85	4,85 C	3,45 b	2,89 c	3,17 C	2,78 e	3,25 cd	3,01 C
		Ort.	5,46 A**	5,32		3,57 A**	3,37 B		3,36	3,29	
	2016	K0	6,00 a**	5,84 b	5,92 A**	4,04 a**	3,91 b	3,97 A**	3,97 a**	3,87 b	3,92 A**
		K1	5,62 c	5,33 d	5,48 B	3,18 d	3,57 c	3,38 B	3,67 c	3,02 d	3,35 B
		K2	5,30 d	5,08 e	5,19 C	3,16 d	3,07 e	3,12 C	2,99 d	2,78 d	2,89 C
		Ort.	5,64 A**	5,42 B		3,46 B*	3,52 A		3,55 A**	3,23 B	
	2015-2016	K0	6,03	5,82	5,93 A**	3,85 a**	3,76 b	3,80 A**	3,95 a**	3,67 b	3,81 A**
		K1	5,56	5,31	4,43 C	3,39 d	3,59 c	3,49 B	3,52 c	3,09 d	3,30 B
		K2	5,07	4,97	5,02 B	3,31 e	2,98 f	3,15 C	2,89 e	3,02 d	2,95 C
		Ort.	5,55 A**	5,37 B		3,52 A**	3,44		3,45 A**	3,26 B	
II	2015	K0	5,96 a**	5,56 b	5,76 A**	3,76 a**	3,62 b	3,69 A**	3,64 a**	3,16 c	3,40 A**
		K1	5,32 c	5,22 d	5,27 B	3,45 c	3,39 c	3,42 B	3,25 b	3,10 d	3,18 B
		K2	4,86 e	4,87 e	4,86 C	3,39 c	2,82 e	3,10 C	3,57 e	2,55 e	2,56 C
		Ort.	5,38 A**	5,23 B		3,53 A**	3,27 B		3,15 A**	2,94 B	
	2016	K0	5,98 a**	5,32 c	5,65 A**	3,56 a**	3,61 a	3,58 A**	3,75 a**	3,40 b	3,58 A**
		K1	5,54b	5,30 c	5,42 B	2,90 c	3,23 b	3,07 B	3,41 b	2,80 c	3,11 B
		K2	5,19 d	5,15 d	5,17 C	2,74 d	2,71 d	2,73 C	2,64 d	2,51 e	2,58 C
		Ort.	5,57 A**	5,26 B		3,07 A**	3,18 B		3,27 A**	2,90 B	
	2015-2016	K0	5,97 a**	5,44 b	5,71 A**	3,66 a**	3,61 a	3,64 A**	3,69 a**	3,28 c	3,49 A**
		K1	5,43 b	5,27 c	5,35 B	3,18 c	3,31 b	3,25 B	3,33 b	2,95 d	3,14 B
		K2	5,02 d	5,01 d	5,02 C	3,07 d	2,76 e	2,92 C	2,61 e	2,53 f	2,57 C
		Ort.	5,48 A**	5,24 B		3,30 A**	3,23 B		3,21 A**	2,92 B	
I-II	2015-2016	K0	6,03 a**	5,63 b	5,82 A**	3,75 a**	3,69 b	3,72 A**	3,82 a**	3,47 b	3,65 A**
		K1	5,50 c	5,29 d	5,39 B	3,28 b	3,45 c	3,37 B	3,43 b	3,02 c	3,22 B
		K2	5,05 e	4,99 f	5,02 C	3,19 d	2,87 f	3,03 C	2,75 d	2,77 d	2,76 C
		Ort.	5,51 A**	5,30 B		3,41 A**	3,34 B		3,33 A**	3,09 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.37. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda değişebilir Na (cmol/kg) içeriğine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,543	0,567	0,555 A**	0,510	0,477	0,493 A**	0,427 a**	0,390 ab	0,408 A**
		K1	0,477	0,440	0,458 B	0,447	0,360	0,403 B	0,350 bc	0,337 c	0,343 B
		K2	0,363	0,347	0,355 C	0,343	0,350	0,347 C	0,210 d	0,327 c	0,268 C
		Ort.	0,461	0,451		0,433	0,396		0,329	0,351	
	2016	K0	0,657	0,557	0,612 A**	0,630	0,610	0,620 A**	0,457 a**	0,433 ab	0,445 A**
		K1	0,510	0,440	0,475 B	0,493	0,473	0,483 B	0,420 ab	0,390 bc	0,405 B
		K2	0,280	0,150	0,215 C	0,457	0,367	0,412 C	0,247 e	0,363 c	0,305 C
		Ort.	0,482 A**	0,386 B		0,527 A**	0,483 B		0,374	0,400	
	2015-2016	K0	0,600	0,562	0,583 A**	0,570	0,543	0,557 A**	0,442 a**	0,412 ab	0,427 A**
		K1	0,493	0,440	0,467 B	0,470	0,417	0,443 B	0,385 bc	0,363 cd	0,374 B
		K2	0,322	0,248	0,285 C	0,400	0,358	0,379 C	0,228 e	0,345 d	0,287 C
		Ort.	0,471 A**	0,418 B		0,480 A*	0,439 B		0,352 B*	0,373 A	
II	2015	K0	0,543 a**	0,427 c	0,485 A**	0,397 b**	0,457 a	0,427 A**	0,403	0,383	0,393 A**
		K1	0,477 b	0,407 c	0,442 B	0,350 c	0,307 d	0,328 B	0,350	0,340	0,345 B
		K2	0,360 d	0,400 cd	0,380 C	0,313 cd	0,253 e	0,283 C	0,210	0,243	0,227 C
		Ort.	0,460 A**	0,411 B		0,353	0,339		0,321	0,322	
	2016	K0	0,670 a**	0,503 b	0,587 A**	0,557	0,553	0,555 A**	0,443 a**	0,417 a	0,430 A**
		K1	0,513 b	0,467 b	0,490 B	0,420	0,437	0,428 B	0,377 b	0,373 b	0,375 B
		K2	0,300 c	0,287 c	0,293 C	0,283	0,257	0,270 C	0,213 d	0,323 c	0,268 C
		Ort.	0,494 A**	0,419 B		0,420	0,416		0,344 B**	0,371 A	
	2015-2016	K0	0,610 a**	0,465 c	0,538 A**	0,480 b*	0,507 a	0,493 A**	0,427 a**	0,403 a	0,415 A**
		K1	0,500 b	0,437 d	0,468 B	0,387 c	0,373 c	0,380 B	0,363 b	0,360 b	0,362 B
		K2	0,333 e	0,344 e	0,340 C	0,300 d	0,257 e	0,278 C	0,213 d	0,287 c	0,250 C
		Ort.	0,481 A**	0,415 B		0,389	0,379		0,334	0,350	
I-II	2015-2016	K0	0,607 a*	0,517 b	0,562 A**	0,523	0,527	0,525 A**	0,433 a**	0,407 b	0,420 A**
		K1	0,497 b	0,440 c	0,468 B	0,430	0,397	0,413 B	0,373 c	0,360 c	0,367 B
		K2	0,330 d	0,300 e	0,315 C	0,350	0,307	0,328 C	0,220 e	0,317 d	0,268 C
		Ort.	0,478 A**	0,417 B		0,434 A*	0,410 B		0,342 B**	0,361 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.38. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda değişebilir K (cmol/kg) içeriğine etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	1,17 a**	1,15 a	1,16 A**	1,06 a*	1,10 a	1,08 A**	1,64	1,53	1,58 A**
		K1	1,02 b	1,04 b	1,03 B	1,03 a	1,07 a	1,05 B	1,58	1,50	1,54 B
		K2	1,00 c	1,01 b	1,00 C	1,03 a	0,96 b	1,00 C	1,33	1,14	1,23 C
		Ort.	1,06 A**	1,07 B		1,04	1,04		1,52 A**	1,39 B	
	2016	K0	1,25 a**	1,11 b	1,18 A**	1,31 a**	1,13 c	1,22 A**	1,81 a	1,57 b	1,69 A
		K1	1,09 b	1,02 c	1,05 B	1,18 b	1,06 d	1,12 B	1,56 b	1,38 c	1,47 B
		K2	0,89 d	0,90 d	0,90 C	1,02 de	0,99 e	1,00 C	0,90 e	1,18 d	1,04 C
		Ort.	1,08 A**	1,01 B		1,17 A**	1,07 B		1,42 A	1,38 B	
	2015-2016	K0	1,21 b**	1,13 c	1,17 A**	1,19	1,11	1,15 A**	1,73 a**	1,55 b	1,64 A**
		K1	1,05 d	1,03 d	1,04 B	1,11	1,06	1,08 B	1,57 b	1,44 c	1,50 B
		K2	0,95 e	0,96 e	0,96 C	1,03	0,98	1,00 C	1,11 d	1,16 d	1,14 C
		Ort.	1,07 A**	1,04 B		1,11 A**	1,05 B		1,47 A**	1,38 B	
II	2015	K0	1,19 a**	1,11 b	1,15 A**	1,06 ab**	1,09 a	1,08 A**	1,56 a**	1,43 b	1,49 A**
		K1	1,02 c	1,04 c	1,03 B	1,06 ab	1,04 b	1,05 B	1,55 a	1,29 c	1,42 B
		K2	1,01 c	1,03 c	1,02 C	1,01 b	0,90 c	0,96 C	1,21 d	1,09 e	1,15 C
		Ort.	1,07	1,06		1,04 A*	1,01 B		1,44 A**	1,27 B	
	2016	K0	1,25 a**	1,06 c	1,16 A**	1,26 a**	1,05 c	1,16 A**	1,68 a**	1,41 b	1,55 A**
		K1	1,14 b	1,00 d	1,07 B	1,14 b	1,03 c	1,08 B	1,31 c	1,16 d	1,23 B
		K2	0,90 e	0,90 e	0,90 C	0,91 d	0,88 d	0,89 C	0,84 f	1,03 e	0,93 C
		Ort.	1,10 A**	0,99 B		1,10 A**	0,98		1,27 A**	1,20 B	
	2015-2016	K0	1,22 a**	1,09 b	1,15 A**	1,16	1,07	1,12 A**	1,62 a**	1,42 b	1,52 A**
		K1	1,08 b	1,02 c	1,05 B	1,10	1,03	1,07 B	1,43 b	1,23 c	1,33 B
		K2	0,96 d	0,97 d	0,96 C	0,96	0,89	0,93 C	1,02 d	1,06 d	1,04 C
		Ort.	1,09 A**	1,03 B		1,08 A**	1,00 B		1,36 A**	1,24 B	
I-II	2015-2016	K0	1,22 a**	1,11 b	1,16 A**	1,18	1,09	1,14 A**	1,67 a**	1,49 b	1,58 A**
		K1	1,07 c	1,03 d	1,05 B	1,10	1,05	1,08 B	1,50 b	1,33 c	1,42 B
		K2	0,96 e	0,96 e	0,96 C	0,99	0,93	0,96 C	1,07 d	1,11 d	1,09 C
		Ort.	1,08 A**	1,03 B		1,09 A**	1,02 B		1,41 A**	1,31 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Tüm sulama yöntemlerinde su kalitesi ve sulama suyu miktarının ESP'ye etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (EK 41). Bu sonuçlar doğrudan ESP'nin bileşeni olan Na'daki değişim trendi ile ilişkilendirilebilir (Çizelge 4.34 ve 4.37). Sou *et al.* (2013), yaptığı çalışma sonunda atık su kullanımının Na oranını arttırdığını, dolayısıyla ESP yüzdesini de artırdığını bildirmişlerdir. Jalali *et al.* (2008) atık suyun sulamada kullanımıyla topraktaki ESP'nin arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte belirlenen ESP değerlerinin toprakta sodyumluluk limit değerlerinin (<15) oldukça altında olması önemli bulunmuştur. Ayrıca, uygulamalar sonrası toprak ESP değerlerinde başlangıç değerlerine göre (Çizelge 3.2) yükselmelerde sınırlı olmuştur.

YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde makro element (toplam N, P_2O_5 ve K_2O) içeriklerinde su kalitesi ve sulama suyu miktarına bağlı değişiklikler önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (EK 42-44).

Toplam N içeriği en yüksek tam sulama yapılan AS uygulamalarında belirlenmiştir. Tüm sulama seviyeleri birlikte değerlendirildiğinde toplam N içerikleri, AS uygulamalarında temiz suya göre YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde sırasıyla % 25,6, % 23,4 ve % 26,6 oranında daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.40). Sulama yöntemlerinin tümünde su kısıtının artışı ile N içeriği azalış göstermiştir. Sulama yöntemleri bazında AS koşullarında tam sulama yapılan konuya (K0) kıyasla K1 ve K2 konularında YA yönteminde sırasıyla % 9,7 ve % 43; YÜ yönteminde % 14 ve % 60,5 ve GS yönteminde % 16,3 ve % 65,8 azalışlar belirlenmiştir. Demir (2016), atık suyla sulama koşullarında su kısıtının artması ile azot içeriğinin azaldığını bildirmiştir.

Toprakların P_2O_5 içerikleri AS koşullarında tam sulanan konuda en yüksek miktarda bulunmuştur (Çizelge 4.41). Sulama yöntemleri bazında AS koşullarında tam sulama yapılan konuya (K0) kıyasla K1 ve K2 konularında YA yönteminde sırasıyla % 7,2 ve % 31,8; YÜ yönteminde % 3,4 ve % 28,6 ve GS yönteminde % 7,7 ve % 33,6 azalışlar belirlenmiştir.

Çizelge 4.39. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında ESP'ye etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	2,10	2,24	2,17 A**	2,32	2,25	2,29 A**	2,20 a**	2,02 ab	2,11 A**
		K1	1,99	1,89	1,94 B	2,24	1,77	2,01 B	1,89 b	1,84 b	1,87 B
		K2	1,56	1,63	1,59 C	1,78	1,81	1,80 C	1,24 c	1,83 b	1,54 C
		Ort.	1,88	1,92		2,12	1,95		1,78	1,90	
	2016	K0	2,47	2,21	2,34 A**	2,83 a**	2,80 a	2,82 A**	2,01 a**	2,03 a	2,02 B**
		K1	2,04	1,85	1,95 B	2,48 bc	2,40 c	2,44 B	2,12 a	2,06 a	2,09 A
		K2	1,25	0,69	0,97 C	2,63 ab	2,08 d	2,36 C	1,49 b	2,01 a	1,75 C
		Ort.	1,92 A**	1,58 B		2,65 A**	2,43 B		1,87 A*	2,04 B	
	2015-2016	K0	2,28	2,22	2,25 A**	2,58	2,53	2,55 A**	2,10 a**	2,03 a	2,07 A**
		K1	2,01	1,87	1,94 B	2,36	2,08	2,22 B	2,01 a	1,95 a	1,98 B
		K2	1,41	1,16	1,28 C	2,20	1,95	2,08 C	1,37 b	1,93 a	1,65 C
		Ort.	1,90 A*	1,75 B		2,38 A*	2,19 B		1,83 B**	1,97 A	
II	2015	K0	2,13 a**	1,72 cd	1,93 A**	1,94 b**	2,27 a	2,10 A**	2,02	2,19	2,11 A**
		K1	1,95 ab	1,67 cd	1,81 B	1,77 bc	1,66 cd	1,72 B	1,95	1,90	1,93 B
		K2	1,59 d	1,80 bc	1,70 C	1,64 c	1,33 d	1,49 C	1,31	1,49	1,40 C
		Ort.	1,89 A**	1,73 B		1,78	1,75		1,76	1,86	
	2016	K0	2,51 a**	2,03 b	2,27 A**	2,66	2,69	2,67 A**	2,05 ab	2,07 a	2,06 A**
		K1	2,01 b	1,96 b	1,98 B	2,31	2,34	2,33 B	1,96 ab	2,07 a	2,02 B
		K2	1,31 c	1,30 c	1,31 C	1,78	1,54	1,66 C	1,36 c	1,89 b	1,62 C
		Ort.	1,94 A**	1,76 B		2,25	2,19		1,79 B**	2,01 A	
	2015-2016	K0	2,32 a**	1,88 c	2,10 A**	2,30 b**	2,48 a	2,39 A**	2,04 ab*	2,13 a	2,08 A**
		K1	1,98 b	1,82 c	1,90 B	2,04 c	2,00 c	2,02 B	1,96 b	1,99 ab	1,97 B
		K2	1,45 e	1,55 d	1,50 C	1,71 d	1,43 e	1,57 C	1,33 d	1,69 c	1,51 C
		Ort.	1,92 A**	1,75 B		2,02	1,97		1,78 B**	1,93 A	
I-II	2015-2016	K0	2,30	2,05	2,17 A**	2,43 a*	2,50 a	2,47 A**	2,07 a**	2,08 a	2,07 A**
		K1	2,00	1,84	1,92 B	2,20 b	2,05 bc	2,12 B	1,98 a	1,97 a	1,97 B
		K2	1,43	1,35	1,39 C	1,96 c	1,69 d	1,83 C	1,35 c	1,81 b	1,58 C
		Ort.	1,91 A**	1,75 B		2,20 A*	2,08 B		1,80 B**	1,95 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: $p < 0,05$ **: $p < 0,01$

Toprakların K₂O içerikleri AS koşullarında tam sulama yapılan YA sulama yönteminde belirlenmiştir (Çizelge 4.42). Sulama yöntemleri bazında AS koşullarında tam sulama yapılan konuya (K0) kıyasla K1 ve K2 konularında YA yönteminde sırasıyla % 6,5 ve % 19,6; YÜ yönteminde % 8,9 ve % 13,4 ve GS yönteminde % 8,3 ve % 17,0 azalışlar belirlenmiştir.

Deneme sonrasında toprakların TN, N ve P içerikleri Çizelge 3.2'deki deneme öncesi değerlerine göre özellikle atık suyla sulama koşullarında daha belirgin olmak üzere tam sulanan konularda daha yüksek belirlenmiştir. AS koşullarında toplam N, P₂O₅ ve K₂O içeriklerinin daha yüksek bulunması atık suyun N, P ve K içeriğinin temiz suya kıyasla fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.1 ve 4.2). Mohammad and Mazahreh (2003) ve Mojiri and Hamidi (2011), topraklardaki besin elementi artışının, özellikle azotun atık sudan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Birçok araştırmacı yürüttükleri çalışmalarda arıtılmış atık su uygulamalarıyla topraktaki toplam N, P₂O₅ ve K₂O içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir (Galavi *et al.* 2010; Adrover *et al.* 2012; Challam and Chaturvedi 2013; Akın 2015; Tripathi *et al.* 2016; Biswas and Mojid 2018; Elfanssi *et al.* 2018). Ayrıca tüm sulama yöntemlerinde özellikle tam sulamada başlangıç değerlerine göre daha yüksek N, P ve K değerlerinin belirlenmiş olması deneme başlangıcında yapılan gübrelemenin bir sonucu olarak da değerlendirilebilir. Toprakta artan verimlilik aynı zamanda silajlık ot verimine de doğrudan katkı sağlamıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.40. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda toplam N içeriğine (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,104 a**	0,081 c	0,093 A**	0,113 a**	0,083 c	0,098 A**	0,122 a**	0,092 c	0,107 A**
		K1	0,090 b	0,073 d	0,081 B	0,102 b	0,082 c	0,092 B	0,103 b	0,077 d	0,090 B
		K2	0,074 d	0,071 d	0,072 C	0,069 d	0,071 d	0,070 C	0,072 d	0,071 d	0,072 C
		Ort.	0,089 A**	0,075 B		0,095 A**	0,079 B		0,099 A**	0,080 B	
	2016	K0	0,117 a**	0,082 c	0,099 A**	0,117 a**	0,091 c	0,104 A**	0,128 a**	0,092 c	0,110 A**
		K1	0,103 b	0,073 cd	0,088 B	0,105 b	0,084 c	0,095 B	0,110 b	0,081 d	0,096 B
		K2	0,080 c	0,071 d	0,076 C	0,076 d	0,074 d	0,075 C	0,081 d	0,075 d	0,078 C
		Ort.	0,100 A**	0,075 B		0,099 A**	0,083 B		0,106 A**	0,083 B	
	2015-2016	K0	0,110 a**	0,082 c	0,096 A**	0,115 a**	0,087 c	0,101 A**	0,125 a**	0,092 c	0,108 A**
		K1	0,097 b	0,073 de	0,085 B	0,104 b	0,083 d	0,093 B	0,107 b	0,079 d	0,093 B
		K2	0,077 d	0,071 e	0,075 C	0,073 e	0,073 e	0,073 C	0,077 d	0,073 e	0,075 C
		Ort.	0,095 A**	0,075 B		0,097 A**	0,081 B		0,103 A**	0,081 B	
II	2015	K0	0,111 a**	0,088 c	0,100 A**	0,111 a**	0,078 c	0,095 A**	0,114 a**	0,081 c	0,098 A**
		K1	0,105 b	0,080 d	0,093 B	0,092 b	0,078 c	0,085 B	0,102 b	0,072 d	0,087 B
		K2	0,078 de	0,073 e	0,076 C	0,068 d	0,068 d	0,068 C	0,068 d	0,072 d	0,070 C
		Ort.	0,098 A**	0,080 B		0,091 A**	0,075 B		0,095 A**	0,075 B	
	2016	K0	0,120 a**	0,092 b	0,106 A**	0,113 a**	0,079 c	0,096 A**	0,121 a**	0,080 c	0,100 A**
		K1	0,114 a	0,081 c	0,097 B	0,100 b	0,074 c	0,087 B	0,102 b	0,079 c	0,091 B
		K2	0,082 c	0,074 c	0,078 C	0,071 d	0,064 d	0,068 C	0,071 d	0,072 d	0,072 C
		Ort.	0,105 A**	0,082 B		0,095 A**	0,072 B		0,098 A**	0,077 B	
	2015-2016	K0	0,116 a**	0,090 c	0,103 A**	0,112 a**	0,079 c	0,096 A**	0,117 a**	0,081 c	0,100 A**
		K1	0,109 b	0,081 d	0,095 B	0,096 b	0,076 c	0,086 B	0,102 b	0,076 d	0,089 B
		K2	0,080 d	0,074 e	0,077 C	0,070 d	0,066 d	0,068 C	0,070 e	0,072 de	0,071 C
		Ort.	0,102 A**	0,081 B		0,093 A**	0,074 B		0,096 A**	0,076 B	
I-II	2015-2016	K0	0,113 a**	0,086 c	0,099 A**	0,114 a**	0,083 c	0,098 A**	0,121 a**	0,086 c	0,104 A**
		K1	0,103 b	0,077 d	0,090 B	0,100 b	0,080 d	0,090 B	0,104 b	0,077 d	0,091 B
		K2	0,079 d	0,072 e	0,076 C	0,071 e	0,069 e	0,070 C	0,073 e	0,073 e	0,073 C
		Ort.	0,098 A**	0,078 B		0,095 A**	0,077 B		0,100 A**	0,079 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.41. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda P₂O₅ içeriğine (kg/da) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	11,33 a*	10,56 b	10,94 A**	12,32 a**	11,08 b	11,70 A**	12,93 a	11,13 c	12,03 A
		K1	10,80 b	9,92 c	10,36 B	12,02 a	10,52 c	11,27 B	12,19 b	10,39 d	11,29 B
		K2	9,34 d	9,23 d	9,29 C	9,75 d	9,30 e	9,52 C	9,88 e	9,17 f	9,52 C
		Ort.	10,49 A**	9,90 B		11,36 A**	10,30 B		11,66 A	10,23 B	
	2016	K0	12,98 a**	10,91 c	11,95 A**	13,44 a**	11,75 c	12,59 A**	14,04 a**	11,64 c	12,84 A**
		K1	12,17 b	10,24 d	11,21 B	12,80 b	10,80 d	11,80 B	12,53 b	11,06 d	11,80 B
		K2	9,84 e	9,11 f	9,47 C	10,07 e	9,52 f	9,79 C	10,07 e	9,47 f	9,77 C
		Ort.	11,66 A**	10,09 B		12,10 A**	10,69 B		12,21 A**	10,72 B	
	2015-2016	K0	12,15 a**	10,74 c	11,44 A**	12,88 a**	11,41 c	12,15 A**	13,48 a**	11,39 c	12,43 A**
		K1	11,49 b	10,08 d	10,78 B	12,41 b	10,66 d	11,54 B	12,36 b	10,73 d	11,54 B
		K2	9,59 e	9,17 f	9,38 C	9,91 e	9,41 f	9,66 C	9,97 e	9,32 f	9,65 C
		Ort.	11,08 A**	10,00 B		11,73 A**	10,49 B		11,94 A**	10,48 B	
II	2015	K0	12,62 a**	10,78 c	11,70 A**	11,45 a*	10,31 b	10,88 A**	12,18 a**	10,64 c	11,41 A**
		K1	11,78 b	10,35 d	11,07 B	11,19 a	10,14 b	10,66 B	11,49 b	9,90 d	10,70 B
		K2	9,50 e	9,19 f	9,34 C	9,37 c	8,95 d	9,16 C	9,28 e	8,84 f	9,06 C
		Ort.	11,30 A**	10,11 B		10,67 A**	9,80 B		10,98 A**	9,80 B	
	2016	K0	14,01 a**	11,70 c	12,86 A**	12,35 a**	10,63 c	11,49 A**	12,82 a**	11,10 c	11,96 A**
		K1	12,76 b	10,57 d	11,67 B	11,67 b	10,35 c	11,01 B	12,01 b	10,41 d	11,21 B
		K2	9,95 e	9,30 f	9,63 C	9,36 d	9,20 d	9,28 C	9,66 e	9,10 f	9,38 C
		Ort.	12,24 A**	10,52 B		11,13 A**	10,06 B		11,50 A**	10,20 B	
	2015-2016	K0	13,32 a**	12,24 c	12,28 A**	11,90 a	10,47 c	11,18 A	12,50 a**	10,87 c	11,69 A**
		K1	12,27 b	10,46 d	11,37 B	11,43 b	10,24 c	10,84 B	11,75 b	10,16 d	10,96 B
		K2	9,73 e	9,24 f	9,48 C	9,37 d	9,08 d	9,22 C	9,47 e	8,97 f	9,22 C
		Ort.	11,77 A**	10,32 B		10,90 A	9,93 B		11,24 A**	10,00 B	
I-II	2015-2016	K0	12,73 a**	10,99 c	11,86 A**	12,39 a**	10,94 c	11,67 A**	12,99 a**	11,13 c	12,06 A**
		K1	11,88 b	10,27 d	11,08 B	11,92 b	10,45 d	11,19 B	12,06 b	10,44 d	11,25 B
		K2	9,66 e	9,21 f	9,43 C	9,64 e	9,24 f	9,44 C	9,72 e	9,14 f	9,43 C
		Ort.	11,42 A**	10,16 B		11,32 A**	10,21 B		11,59 A**	10,24 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.42. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda K₂O içeriğine (kg/da) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	93,81	89,03	91,42 A**	95,49	89,98	92,73 A**	98,66 a*	90,51 b	94,59 A**
		K1	91,34	87,71	89,53 B	90,29	86,81	88,55 B	92,44 b	86,79 c	89,62 B
		K2	82,26	82,93	82,60 C	84,63	84,15	84,39 C	84,30 cd	82,16 d	83,23 C
		Ort.	89,14 A*	86,56 B		90,14 A*	86,98 B		91,80 A**	86,49 B	
	2016	K0	100,75 a*	90,84 bc	95,80 A**	100,30 a*	90,79 bc	95,55 A**	103,68	91,87	97,78 A**
		K1	93,07 b	88,50 c	90,79 B	91,63 b	87,72 cd	89,68 B	93,19	86,44	89,81 B
		K2	83,52 d	80,91 d	82,22 C	85,96 de	83,47 e	84,72 C	88,83	82,77	85,80 C
		Ort.	92,45 A**	86,75 B		92,63 A**	87,33 B		93,23 A**	87,03 B	
	2015-2016	K0	97,28 a*	89,93 bc	93,61 A**	97,89 a*	90,39 b	94,14 A**	101,17 a*	91,19 b	96,18 A**
		K1	92,21 b	88,11 c	90,16 B	90,96 b	97,27 c	89,11 B	92,82 b	86,62 c	89,72 B
		K2	82,89 d	81,92 d	82,41 C	85,29 cd	83,81 d	84,55 C	86,57 c	82,46 d	84,51 C
		Ort.	90,79 A**	86,65 B		91,38 A**	87,15 B		93,52 A**	86,76 B	
II	2015	K0	98,56 a*	90,46 c	94,51 A**	92,07	89,40	90,73 A**	95,09	87,31	91,20 A**
		K1	94,78 b	88,68 c	91,73 B	85,94	83,43	84,69 B	88,77	84,33	86,55 B
		K2	84,64 d	84,63 d	84,64 C	83,82	81,07	82,44 C	82,13	79,95	81,04 C
		Ort.	91,66 A	87,92 B		87,28	84,63		88,66 A**	83,86 B	
	2016	K0	105,91 a**	92,20 bc	99,06 A**	96,14 a**	89,00 b	92,57 A**	97,78 a**	87,35 c	92,56 A**
		K1	95,53 b	90,15 c	92,84 B	84,80 c	85,75 c	85,27 B	90,63 b	83,59 d	87,11 B
		K2	83,29 d	81,80 d	82,54 C	84,33 c	81,23 d	82,78 C	82,55 d	80,40 d	81,47 C
		Ort.	94,91 A**	88,05 B		88,42 A**	85,33 B		90,32 A**	83,78 B	
	2015-2016	K0	102,23 a**	91,33 c	96,78 A**	94,10	89,20	91,65 A**	96,43 a*	87,33 b	91,88 A**
		K1	95,15 b	89,41 c	92,28 B	85,37	84,59	84,98 B	89,70 b	83,96 bc	86,83 B
		K2	83,97 d	83,21 d	83,59 C	84,07	81,15	82,61 C	82,34 cd	80,17 d	81,26 C
		Ort.	93,78 A**	87,99 B		87,85 A**	84,98 B		89,49 A**	83,82 B	
I-II	2015-2016	K0	99,76 a**	90,63 c	95,19 A**	96,00 a*	89,79 b	92,89 A**	98,80 a*	89,26 b	94,03 A**
		K1	93,68 b	88,76 c	91,22 B	88,17 b	85,93 c	87,05 B	91,26 b	85,29 c	88,27 B
		K2	83,43 d	82,57 d	83,00 C	84,68 c	82,48 d	83,58 C	84,45 c	81,32 d	82,89 C
		Ort.	92,29 A **	87,33 B		89,62 A**	86,07 B		91,50 A**	85,29 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Tüm sulama yöntemlerinde su kalitesi ve sulama suyu miktarının toprak ağır metal içeriklerine etkisi önemli ($p<0,01$) bulunmuş, tam sulanan konularda en yüksek değerler gözlenmiştir (EK 45-53). Bütün yöntemlerde atık suyla sulanan konularda temiz suya kıyasla ağır metal içeriklerinin daha yüksek bulunması atık suyun içerisinde bu elementlerin fazlaca varlığından kaynaklanmaktadır (Çizelge 4.1 ve 4.2). Ayrıca atık suyla sulama koşullarında topraktaki ağır metallerin artışının toprak pH'sının daha düşük olmasıyla da ilişkisi olabilir. Sing *et al.* (2009), atık su kullanımıyla pH içeriğinin düştüğü ve ağır metallerin varlığının arttığını ve bu artışın hidrojen iyonlarının metal iyonlarına göre daha yüksek çekim gücüne sahip olduğundan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sulama yöntemleri bazında en yüksek ağır metal içerikleri atık suyun en çok uygulandığı yöntem olan GS sulama yönteminde belirlenmiştir (Çizelge 4.43-51). YÜ yönteminde de YA sulama yöntemine göre uygulanan suyun daha yüksek olmasıyla ilişkili olarak genel anlamda kısmen daha yüksek ağır metal birikimleri görülmüştür. Oron *et al.* (1999), YA sulama yönteminde YÜ sulama yöntemine göre daha az toprak kirlenmesinin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Yapılan birçok çalışmada atık suyla sulanan topraklardaki ağır metal içeriklerinin temiz suya kıyasla yüksek olduğu görülmüştür (Dikinya and Areola 2010; Galavi *et al.* 2010; Gupta *et al.* 2010; Kim *et al.* 2015; Alghobar and Suresha 2016; Kumar *et al.* 2017).

Deneme sonunda topraklardaki ağır metal içerikleri başlangıç değerlerine göre artmış olmasına rağmen sınır değerlerin çok altında kaldığı görülmektedir (Çizelge 2.2). Bu durumun atık suyun uzun süreli kullanılmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bazı araştırmacılarda ancak uzun süreli atık su kullanımının da topraklarda riskler oluşabileceğini bildirmişlerdir (Xu *et al.* 2010; Fredj *et al.* 2014; Wang *et al.* 2015). Ağır metaller sınır değerlerini aşmadığı sürece topraklara mikro-minor element olarak gübre takviyesi sağlamaktadır (Selim 2008; Fine and Hadas 2012; Cicek *et al.* 2013; Tripathi *et al.* 2016; Ines *et al.* 2017; Biswas *et al.* 2018). Bu kapsamda topraktaki mikro-minor element birikimlerinin silajlık mısır üretiminde faydalar sağladığı söylenebilir.

Çizelge 4.43. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda B içeriğine (%) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,361 a**	0,213 d	0,287 A**	0,425 a**	0,203 d	0,314 A**	0,547 a**	0,239 d	0,393 A**
		K1	0,321 b	0,210 d	0,266 B	0,336 b	0,211 d	0,274 B	0,404 b	0,218 de	0,311 B
		K2	0,293 c	0,211 d	0,252 C	0,273 c	0,210 d	0,242 C	0,302 c	0,213 e	0,257 C
		Ort.	0,325 A**	0,211 B		0,345 A**	0,208 B		0,418 A**	0,223 B	
	2016	K0	0,397 a**	0,220 d	0,309 A**	0,434 a**	0,220 d	0,327 A**	0,521 a**	0,231 d	0,376 A**
		K1	0,335 b	0,218 d	0,277 B	0,341 b	0,215 d	0,278 B	0,379 b	0,220 d	0,300 B
		K2	0,287 c	0,210 d	0,248 C	0,289 c	0,211 d	0,250 C	0,313 c	0,207 d	0,260 C
		Ort.	0,340 A**	0,216 B		0,355 A**	0,215		0,404 A**	0,219 B	
	2015-2016	K0	0,379 a**	0,216	0,298 A**	0,429 a**	0,212 d	0,320 A**	0,534 a**	0,235 d	0,385 A**
		K1	0,328 b	0,213	0,271 B	0,339 b	0,213 d	0,276 B	0,391 b	0,219 de	0,305 B
		K2	0,290 c	0,210	0,250 C	0,281 c	0,211 d	0,246 C	0,307 c	0,210 e	0,259 C
		Ort.	0,332 A**	0,213 B		0,350 A**	0,212 B		0,411 A**	0,221 B	
II	2015	K0	0,434 a**	0,219 d	0,327 A**	0,399 a**	0,202 d	0,301 A**	0,510 a**	0,236 d	0,373 A**
		K1	0,337 b	0,211 d	0,274 B	0,331 b	0,212 d	0,272 B	0,392 b	0,217 d	0,305 B
		K2	0,302 c	0,213 d	0,257 C	0,273 c	0,208 d	0,240 C	0,275 c	0,212 d	0,244 C
		Ort.	0,358 A**	0,214 B		0,334 A**	0,07 B		0,392 A**	0,223 B	
	2016	K0	0,416 a**	0,224 d	0,320 A**	0,415 a**	0,218 d	0,316 A**	0,482 a**	0,220 d	0,351 A**
		K1	0,351 b	0,221 d	0,286 B	0,338 b	0,212 d	0,275 B	0,374 b	0,207 d	0,290 B
		K2	0,291 c	0,214 d	0,253 C	0,282 c	0,214 d	0,248 C	0,273 c	0,212 d	0,247 C
		Ort.	0,353 A**	0,220 B		0,345 A**	0,215 B		0,379 A**	0,213 B	
	2015-2016	K0	0,425 a**	0,222 d	0,324 A**	0,407 a**	0,210 d	0,308 A**	0,496 a**	0,228 d	0,362 A**
		K1	0,344 b	0,216 d	0,280 B	0,335 b	0,212 d	0,273 B	0,382 b	0,212 e	0,297 B
		K2	0,296 c	0,214 d	0,255 C	0,277 c	0,211 d	0,244 C	0,279 c	0,212 e	0,245 C
		Ort.	0,355 A**	0,217 B		0,340 A**	0,211 B		0,386 A**	0,218 B	
I-II	2015-2016	K0	0,402 a**	0,219 d	0,311 A**	0,418 a**	0,211 d	0,314 A**	0,515 a**	0,231 d	0,373 A**
		K1	0,336 a	0,215 d	0,276 B	0,337 b	0,213 d	0,275 B	0,387 b	0,216 e	0,301 B
		K2	0,293 c	0,212 d	0,252 C	0,279 c	0,211 d	0,245 C	0,293 c	0,211 e	0,252 C
		Ort.	0,344 A**	0,215 B		0,344 A**	0,211 B		0,398 A**	0,219 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.44. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Fe içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	6,97 a**	4,69 d	5,83 A**	6,76 a**	4,80 d	4,78 A**	6,88 a**	5,52 c	6,20 A**
		K1	6,51 b	4,20 e	5,36 B	6,17 b	4,09 e	5,13 B	6,32 b	5,35 d	5,84 B
		K2	5,24 c	3,61 f	4,43 C	5,09 c	3,70 f	4,40 C	5,08 e	3,51 f	4,30 C
		Ort.	6,24 A**	4,17 B		6,01 A**	4,20 B		3,09 A**	4,80 B	
	2016	K0	8,78 a**	5,01 d	6,90 A**	9,07 a**	4,85 d	6,96 A**	8,29 a**	4,92 e	6,60 A**
		K1	7,86 b	4,65 e	6,25 B	7,81 b	4,60 e	6,20 B	7,67 b	5,17 d	6,42 B
		K2	5,61 c	4,26 f	4,93 C	5,30 c	4,10 f	4,70 C	5,40 c	4,31 f	4,85 C
		Ort.	7,42 A**	4,64 B		7,39 A**	4,52 b		7,12 A**	4,80 B	
	2015-2016	K0	7,88 a**	4,85 d	6,36 A**	7,92 a**	4,83 d	6,37 A**	7,59 a**	5,22 c	6,40 A**
		K1	7,19 b	4,42 e	5,81 B	6,99 b	4,34 e	5,66 B	6,99 b	5,26 c	6,13 B
		K2	5,43 c	3,93 f	4,68 C	5,20 c	3,90 f	4,55 C	5,24 c	3,91 d	4,57 C
		Ort.	6,83 A**	4,40 B		6,70 A**	4,36 b		6,61 A**	4,80 B	
II	2015	K0	8,03 a	5,06 d	6,55 A	8,44 a	5,43 c	6,94 A	9,39 a	7,02 c	8,21 A
		K1	7,12 b	4,63 e	5,88 B	6,85 b	5,14 d	5,60 B	7,21 b	5,73 d	6,47 B
		K2	5,71 c	4,65 e	5,18 C	4,77 e	4,34 f	4,56 C	4,49 e	4,30 f	4,40 C
		Ort.	6,95 A	4,78 B		6,69 A	4,97 B		7,03 A	5,68 B	
	2016	K0	8,67 a	5,03 d	6,85 A	9,66 a	5,24 c	7,45 A	10,14 a	5,28 c	7,71 A
		K1	8,48 b	4,84 e	6,66 B	7,68 b	4,92 e	6,30 B	8,19 b	4,62 e	6,40 B
		K2	5,93 c	4,80 e	5,36 C	5,12 d	3,83 f	4,47 C	5,10 d	4,20 f	4,65 C
		Ort.	7,69 A	4,89 B		7,49 A	4,66 B		7,81 A	4,70 B	
	2015-2016	K0	8,35 a	5,05 d	6,70 A	9,05 a	5,33 c	7,19 A	9,77 a	6,15 c	7,96 A
		K1	7,80 b	4,73 e	6,27 B	7,27 b	5,03 d	6,15 B	7,70 b	5,17 d	6,44 B
		K2	5,82 c	4,72 e	5,27 C	4,95 e	4,09 f	4,52 C	4,80 e	4,25 f	4,52 C
		Ort.	7,32 A	4,83 B		7,09 A	4,82 B		7,42 A	5,19 B	
I-II	2015-2016	K0	8,11 a**	4,79 d	6,45 A**	8,48 a**	5,08 c	6,78 A**	8,68 a**	5,69 c	7,18 A**
		K1	7,50 b	4,74 e	6,12 B	7,13 b	4,69 d	5,91 B	7,35 b	5,22 d	6,28 B
		K2	5,62 c	4,33 f	4,98 C	5,07 c	3,99 e	4,53 C	5,02 e	4,08 f	4,55 C
		Ort.	7,08 A**	4,62 B		6,89 A**	4,59 B		7,01 A**	4,99 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.45. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cu içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	4,03 a**	2,12 d	3,08 A**	4,32 a**	2,12 d	3,22 A**	5,40 a**	2,13 d	3,77 A**
		K1	3,49 b	2,11 d	2,80 B	3,49 b	2,12 d	2,80 B	4,12 b	2,12 d	3,12 B
		K2	2,72 c	2,10 d	2,41 C	2,80 c	2,11 d	2,46 C	2,70 c	2,11 d	2,40 C
		Ort.	3,41 A**	2,12 b		3,54 A**	2,11 B		4,07 A**	2,12 B	
	2016	K0	4,19 a**	2,17 d	3,18 A**	4,48 a**	2,18 d	3,33 A**	5,47 a**	2,19 e	3,83 A**
		K1	3,51 b	2,16 d	2,84 B	3,57 b	2,18 d	2,87 B	4,08 b	2,18 d	3,13 B
		K2	2,82 c	2,12 d	2,47 C	2,84 c	2,10 e	2,47 C	2,67 c	2,12 e	2,40 C
		Ort.	3,51 A**	2,15 B		3,63 A**	2,15 B		4,07 A**	2,17 B	
	2015-2016	K0	4,11 a**	2,14 d	3,13 A**	4,40 a**	2,15 d	3,27 A**	5,43 a**	2,16 d	3,80 A**
		K1	3,50 b	2,13 de	2,82 B	3,53 b	2,15 d	2,84 B	4,10 b	2,15 de	3,13 B
		K2	2,77 c	2,11 e	2,44 C	2,82 c	2,10 e	2,46 C	2,69 c	2,12 f	2,40 C
		Ort.	3,46 A**	2,13 B		3,58 A**	2,13 B		4,07 A**	2,14 B	
II	2015	K0	4,35 a**	2,12 d	3,24 A**	4,18 a**	2,12 d	3,15 A**	5,06 a**	2,12 d	3,59 A**
		K1	3,70 b	2,12 d	2,91 B	3,30 b	2,12 d	2,71 B	3,82 b	2,12 d	2,97 B
		K2	2,79 c	2,10 d	2,45 C	2,70 c	2,10 d	2,40 C	2,63 c	2,10 d	2,36 C
		Ort.	3,62 A**	2,11 B		2,29 A**	2,11 B		3,83 A**	2,11 B	
	2016	K0	4,39 a**	2,18 d	3,28 A**	4,27 a**	2,17 d	3,22 A**	5,15 a**	2,18 d	3,66 A**
		K1	3,67 b	2,17 d	2,92 B	3,36 b	2,18 d	2,77 B	3,89 b	2,16 d	3,03 B
		K2	3,00 c	2,14 d	2,57 C	2,72 c	2,10 e	2,41 C	2,61 c	2,11 d	2,36 C
		Ort.	3,70 A**	2,16 B		3,45 A**	2,15 B		3,88 A**	2,15 B	
	2015-2016	K0	4,37 a**	2,15 d	3,26 A**	4,22 a**	2,14 d	3,18 A**	5,10 a**	2,15 d	3,63 A**
		K1	3,69 b	2,14 d	2,91 B	3,33 b	2,15 d	2,74 B	3,85 b	2,14 d	3,00 B
		K2	2,90 c	2,12 d	2,51 C	2,71 c	2,10 d	2,40 C	2,62 c	2,11 d	2,36 C
		Ort.	3,65 A**	2,14 B		3,42 A**	2,13 B		3,86 A**	2,12 B	
I-II	2015-2016	K0	4,24 a**	2,15 d	3,19 A**	4,31 a**	2,15 d	3,23 A**	5,27 a**	2,16 d	3,71 A**
		K1	3,59 b	2,14 d	2,87 B	3,43 b	2,15 d	2,79 B	3,98 b	2,15 d	3,06 B
		K2	2,83 c	2,12 d	2,47 C	2,77 c	2,10 e	2,43 C	2,65 c	2,11 d	2,38 C
		Ort.	3,56 A**	2,13 B		3,50 A**	2,13 B		3,97 A**	2,14 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.46. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Zn içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	79,7 a**	55,3 d	67,5 A**	84,7 a**	55,8 d	70,2 A**	94,6 a**	56,1 d	75,3 A**
		K1	73,8 b	54,1 d	64,0 B	73,1 b	54,4 d	63,8 B	83,9 b	55,0 d	69,5 B
		K2	64,3 c	53,5 d	58,9 C	62,8 c	54,2 d	58,5 C	67,2 c	54,8 d	61,0 C
		Ort.	72,6 A**	54,3 B		73,6 A**	54,8 B		81,9 A**	55,3 B	
	2016	K0	83,4 a**	56,0 d	69,7 A**	86,3 a**	56,1 d	71,2 A**	99,2 a**	57,1 d	78,2 A**
		K1	75,8 b	54,4 d	65,1 B	76,2 b	54,6 d	65,4 B	86,8 b	55,3 d	71,0 B
		K2	65,5 c	54,2 d	59,9 C	64,9 c	54,5 d	59,7 C	68,6 c	55,1 d	61,9 C
		Ort.	74,9 A**	54,8 B		75,8 A**	55,0 B		84,9 A**	55,8 B	
	2015-2016	K0	81,5 a**	55,6 d	68,6 A**	85,5 a**	55,9 d	70,7 A**	96,9 a**	56,6 d	76,7 A**
		K1	74,8 b	54,2 d	64,5 B	74,7 b	54,5 d	64,6 B	85,3 b	55,2 d	70,2 B
		K2	64,9 c	53,8 d	59,4 C	63,9 c	54,3 d	59,1 C	67,9 c	55,0 d	61,4 C
		Ort.	73,8 A**	54,7 B		74,7 A**	54,9 B		83,4 A**	55,6 B	
II	2015	K0	86,3 a**	56,2 d	71,2 A**	82,5 a**	56,0 d	69,3 A**	94,6 a**	55,4 d	75,0 A**
		K1	76,3 b	54,8 d	65,6 B	73,1 b	54,2 d	63,6 B	83,1 b	55,2 d	69,2 B
		K2	65,5 c	53,9 d	59,7 C	60,1 c	53,7 d	56,9 C	66,2 c	54,3 d	60,2 C
		Ort.	76,0 A**	55,0 C		71,9 A**	54,6 B		81,3 A**	55,0 B	
	2016	K0	85,2 a**	55,3 d	70,3 A**	86,1 a**	53,9 d	70,0 A**	97,0 a**	55,2 d	76,1 A**
		K1	78,1 b	55,0 d	66,6 B	76,2 b	53,8 d	65,0 B	83,5 b	54,0 d	68,8 B
		K2	67,3 c	54,2 d	60,7 C	62,2 c	53,7 d	58,0 C	66,5 c	53,8 d	60,2 C
		Ort.	76,9 A**	54,8 B		74,9 A**	53,8 B		82,3 A**	54,4 B	
	2015-2016	K0	85,7 a**	55,8 d	70,8 A**	84,3 a**	54,90 d	69,6 A**	95,8 a**	55,3 d	75,6 A**
		K1	77,2 b	54,9 d	66,1 B	74,7 b	54,0 d	64,3 B	83,3 b	54,6 d	69,0 B
		K2	66,4 c	54,0 d	60,2 C	61,1 c	53,7 d	57,4 C	66,4 c	54,0 d	60,2 C
		Ort.	76,5 A**	54,9 B		73,4 A**	54,2 B		81,8 A**	54,7 B	
I-II	2015-2016	K0	83,6 a**	55,7 d	69,7 A**	84,9 a**	55,4 d	70,2 A**	96,4 a**	56,0 d	76,2 A**
		K1	76,0 b	54,6 d	65,3 B	74,7 b	54,3 d	64,5 B	84,3 b	54,9 d	69,6 B
		K2	65,7 c	53,9 d	59,8 C	62,5 c	54,0 d	58,3 C	67,1 c	54,5 d	60,8 C
		Ort.	75,1 A**	54,7 B		74,0 A**	54,6 B		82,6 A**	55,1 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: $p < 0,05$ **: $p < 0,01$

Çizelge 4.47. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Mn içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	14,13 a**	6,41 d	10,27 A**	14,79 a**	6,46 d	10,63 A**	18,50 a**	6,88 d	12,69 A**
		K1	12,48 b	6,40 d	9,44 B	13,01 b	6,43 d	9,72 B	16,52 b	6,50 e	11,51 B
		K2	9,12 c	6,32 d	7,72 C	9,13 c	6,35 e	7,74 C	9,00 c	6,39 e	7,70 C
		Ort.	11,91 A**	6,37 B		12,31 A**	6,42 B		14,67 A**	6,59 B	
	2016	K0	14,09 a**	6,58 d	10,33 A**	17,08 a**	6,61 d	11,85 A**	19,68 a**	7,22 d	13,45 A**
		K1	12,80 b	6,51d	9,66 B	14,00 b	6,50 d	10,25 B	16,78b	6,59 e	11,69 B
		K2	9,17 c	6,22 e	7,70 C	9,13 c	6,24 e	7,69 C	9,46 c	6,13 e	7,80 C
		Ort.	12,02 A**	6,44 B		13,40 A**	6,45 B		15,31 A**	6,65 B	
	2015-2016	K0	14,11 a**	6,49 d	10,30 A**	15,94 a**	6,54 d	11,24 A**	19,09 a**	7,05 d	13,07 A**
		K1	12,64 b	6,45 d	9,55 B	13,50 b	6,47 d	9,98 B	16,65 b	6,55 e	11,60 B
		K2	9,15 c	6,27 e	7,71 C	9,13 c	6,30 e	7,71 C	9,23 c	6,26 f	7,75 C
		Ort.	11,96 A**	6,41 B		12,86 A**	6,43 B		14,99 A**	6,62 B	
II	2015	K0	15,50 a**	6,42 d	10,96 A**	15,35 a**	6,40 d	10,87 A**	17,56 a**	6,67 d	12,11 A**
		K1	13,14 b	6,40 d	9,77 B	12,19 b	6,39 d	9,29 B	14,88 b	6,38 e	10,63 B
		K2	9,73 c	6,30 d	8,02 C	9,00 c	6,27 d	7,65 C	8,84 c	6,19 f	7,51 C
		Ort.	12,79 A**	6,38 B		12,18 A**	6,35 B		13,76 A**	6,41 B	
	2016	K0	18,40 a**	6,65 d	12,52 A**	15,53 a**	6,56 d	11,05 A**	17,81 a**	6,87 d	12,34 A**
		K1	13,51 b	6,56 d	10,04 B	12,22 b	6,32 e	9,27 B	15,15 b	6,17 e	10,66 B
		K2	10,03 c	6,28 e	8,15 C	9,05 c	6,17 e	7,61 C	9,12 c	5,99 e	7,56 C
		Ort.	13,98 A**	6,50 B		12,27 A**	6,35 B		14,03 A**	6,34 B	
	2015-2016	K0	16,95 a**	6,54 d	11,74 A**	15,44 a**	6,48 d	10,96 A**	17,69 a**	6,76 d	12,22 A
		K1	13,33 b	6,48 d	9,90 B	12,21 b	6,36 d	9,28 B	15,02 b	6,28 e	10,65 B
		K2	9,88 c	6,29 e	8,08 C	9,03 c	6,22 e	7,62 C	8,98 c	6,09 f	7,54 C
		Ort.	13,38 A**	6,44 B		12,22 A**	6,35 B		13,89 A**	6,38 B	
I-II	2015-2016	K0	15,53 a**	6,52 d	11,02 A**	15,69 a**	6,51 d	11,10 A**	18,39 a**	6,91 d	12,65 A**
		K1	12,98 b	6,47 d	9,73 B	12,85 b	6,41 e	9,63 B	15,83 b	6,41 e	11,12 B
		K2	9,51 c	6,28 e	7,90 C	9,08 c	6,26 f	7,67 C	9,11 c	6,18 f	7,64 C
		Ort.	12,67 A**	6,42 B		12,54 A**	6,39 B		14,44 A**	6,50 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.48. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Pb içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	6,40 a**	3,92 d	5,16 A**	6,55 a**	4,00 d	5,28 A**	7,03 a**	4,02 d	5,52 A**
		K1	5,65 b	3,89 d	4,77 B	5,91 b	3,93 de	4,92 B	6,32 b	3,93 d	5,13 B
		K2	4,98 c	3,87 d	4,43 C	5,02 c	3,86 e	4,44 C	5,04 c	3,88 d	4,46 C
		Ort.	5,68 A**	3,89 B		5,83 A**	3,93 B		6,13 A**	3,94 B	
	2016	K0	6,71 a**	3,98 d	5,34 A**	6,94 a**	4,04 d	5,49 A**	7,18 a**	4,08 d	5,63 A**
		K1	5,97 b	3,92 d	4,94 B	6,17 b	3,95 de	5,06 B	6,51 b	3,94 e	4,22 B
		K2	5,21 c	3,93 d	4,57 C	5,06 c**	3,87 e	4,47 C	5,09 c	3,85 e	4,47 C
		Ort.	5,96 A**	3,94 B		6,06 A	3,95 B		6,26 A**	3,95 B	
	2015-2016	K0	6,55 a**	3,95 d	5,25 A**	6,75 a**	4,02 d	5,38 A**	7,10 a**	4,05 d	5,58 A**
		K1	5,81 b	3,91 d	4,86 B	6,04 b	3,94 e	4,99 B	6,42 b	3,93 e	5,17 B
		K2	5,10 c	3,90 d	4,50 C	5,04 c	3,87 f	4,45 C	5,07 c	3,86 f	4,47 C
		Ort.	5,82 A**	3,92 B		5,94 A**	3,94 B		6,20 A**	3,95 B	
II	2015	K0	6,96 a**	4,01 d	5,49 A**	6,38 a**	3,94 d	5,16 A**	6,60 a**	3,90 d	5,25 A**
		K1	5,77 b	3,93 de	4,85 B	5,77 b	3,90 d	4,83 B	6,12 b	3,84 de	4,98 B
		K2	5,13 c	3,91 e	4,52 C	4,92 c	3,87 d	4,40 C	4,89 c	3,80 e	4,35 C
		Ort.	5,95 A**	3,95 B		5,69 A**	3,90 B		5,87 A**	3,85 B	
	2016	K0	7,08 a**	4,08 d	5,58 A**	6,66 a**	3,93 d	5,29 A**	6,88 a**	3,91 d	5,40 A**
		K1	6,19 b	3,94 de	5,07 B	6,01 b	3,89 d	4,95 B	6,15 b	3,87 d	5,01 B
		K2	5,25 c	3,91 e	4,58 C	5,02 c	3,85 e	4,43 C	4,92 c	3,78 d	4,35 C
		Ort.	6,18 A**	3,98 B		5,89 A**	3,89 B		5,99 A**	3,85 B	
	2015-2016	K0	7,02 a**	4,05 d	5,53 A**	6,52 a**	3,94 d	5,23 A**	6,74 a**	3,91 d	5,32 A**
		K1	5,98 b	3,94 e	4,96 B	5,89 b	3,89 de	4,89 B	6,14 b	3,85 de	4,99 B
		K2	5,19 c	3,91 e	4,55 C	4,97 c	3,86 e	4,41 C	4,91 c	3,79 e	4,35 C
		Ort.	6,07 A**	3,96 B		5,79 A**	3,90 B		5,93 A**	3,85 B	
I-II	2015-2016	K0	6,79 a**	4,00 d	5,39 A**	6,63 a**	3,98 d	5,30 A**	6,92 a**	3,98 d	5,45 A**
		K1	5,89 b	3,92 e	4,91 B	5,96 b	3,92 e	4,94 B	6,28 b	3,89 e	5,08 B
		K2	5,14 c	3,90 e	4,52 C	5,00 c	3,86 f	4,43 C	4,99 c	3,83 f	4,41 C
		Ort.	5,94 A**	3,94 B		5,87 A**	3,92 B		6,06 A**	3,90 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.49. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cr içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,32 a**	0,22 d	0,27 A**	0,36 a**	0,27 c	0,31 A**	0,41 a**	0,25 c	0,33 A**
		K1	0,29 b	0,19 e	0,24 B	0,32 b	0,25 d	0,29 B	0,35 b	0,24 c	0,29 B
		K2	0,24 c	0,18 e	0,21 C	0,23 de	0,22 e	0,23 C	0,24 c	0,23 c	0,23 C
		Ort.	0,28 A**	0,20 B		0,30 A**	0,25 B		0,33 A**	0,24 B	
	2016	K0	0,33 a**	0,22 d	0,27 A**	0,37 a**	0,28 c	0,32 A**	0,45 a**	0,26 c	0,35 A**
		K1	0,31 b	0,22 d	0,27 B	0,34 b	0,25 d	0,30 B	0,36 b	0,24 cd	0,30 B
		K2	0,24 c	0,19 e	0,22 C	0,24 d	0,21 e	0,23 C	0,25 c	0,22 d	0,23 C
		Ort.	0,30 A**	0,21 B		0,32 A**	0,24 B		0,35 A**	0,24 B	
	2015-2016	K0	0,33 a**	0,22 d	0,27 A**	0,36 a**	0,27 c	0,32 A**	0,43 a**	0,26 c	0,34 A**
		K1	0,30 b	0,21 d	0,25 B	0,33 b	0,25 d	0,29 B	0,35 b	0,24 cd	0,30 B
		K2	0,24 c	0,19 e	0,21 C	0,24 d	0,21 e	0,23 C	0,24 d	0,22 e	0,23 C
		Ort.	0,29 A**	0,20 B		0,31 A**	0,24 B		0,34 A**	0,24 B	
II	2015	K0	0,37 a	0,27 c	0,32 A**	0,33 a**	0,24 c	0,29 A**	0,35 a**	0,24 c	0,30 A**
		K1	0,31 b	0,23 e	0,27 B	0,31 b	0,22 de	0,26 B	0,32 b	0,22 d	0,27 B
		K2	0,25 d	0,20 f	0,23 C	0,23 cd	0,21 e	0,22 C	0,22 cd	0,20 d	0,21 C
		Ort.	0,31 A**	0,23 B		0,29 A**	0,22 B		0,29 A**	0,22 B	
	2016	K0	0,40 a**	0,29 c	0,34 A**	0,34 a**	0,24 c	0,29 A**	0,36 a**	0,23 c	0,30 A**
		K1	0,34 b	0,25 d	0,30 B	0,32 b	0,23 c	0,27 B	0,33 b	0,21 d	0,27 B
		K2	0,26 d	0,21 e	0,24 C	0,23 c	0,19 d	0,21 C	0,21 cd	0,19 d	0,20 C
		Ort.	0,33 A**	0,25 B		0,30 A**	0,22 B		0,30 A**	0,21 B	
	2015-2016	K0	0,38 a**	0,28 c	0,33 A**	0,34 a**	0,24 c	0,29 A**	0,35 a**	0,24 c	0,30 A**
		K1	0,33 b	0,24 e	0,28 B	0,31 b	0,22 d	0,27 B	0,32 b	0,21 d	0,27 B
		K2	0,26 d	0,21 f	0,23 C	0,23 cd	0,20 e	0,22 C	0,22 d	0,20 e	0,21 C
		Ort.	0,32 A**	0,24 B		0,30 A**	0,22 B		0,30 A**	0,22 B	
I-II	2015-2016	K0	0,356 a**	0,247 c	0,302 A**	0,352 a**	0,259 c	0,305 A**	0,391 a**	0,247 c	0,319 A**
		K1	0,313 b	0,223 d	0,268 B	0,324 b	0,235 d	0,289 B	0,339 b	0,226 d	0,282 B
		K2	0,248 c	0,197 e	0,226 C	0,236 d	0,209 e	0,222 C	0,228 d	0,210 e	0,219 C
		Ort.	0,306 A**	0,222 B		0,304 A**	0,234 B		0,319 A*	0,228 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.50. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Cd içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,116 a**	0,021 d	0,069 A**	0,138 a**	0,024 d	0,081 A**	0,168 a**	0,024 d	0,096 A**
		K1	0,078 b	0,020 d	0,049 C	0,097 b	0,021 d	0,059 B	0,124 b	0,021 d	0,073 B
		K2	0,040 c	0,020 d	0,030 C	0,043 c	0,020 d	0,032 C	0,049 c	0,020 b	0,035 C
		Ort.	0,078 A**	0,020		0,093 A**	0,022 B		0,114 A**	0,022 B	
	2016	K0	0,125 a**	0,022 d	0,074 A**	0,153 a**	0,027 d	0,090 A**	0,177 a**	0,029 d	0,103 A**
		K1	0,084 b	0,020 d	0,052 B	0,119 b	0,027 d	0,073 B	0,133 b	0,025 d	0,079 B
		K2	0,047 c	0,019 d	0,033 C	0,052 c	0,021 d	0,036 C	0,051 c	0,022 d	0,037 C
		Ort.	0,085 A**	0,020		0,108 A**	0,025 B		0,120 A**	0,026 B	
	2015-2016	K0	0,121 a**	0,022 d	0,071 A**	0,146 a**	0,026 d	0,086 A**	0,173 a**	0,027 d	0,100 A**
		K1	0,081 b	0,020 d	0,051 B	0,108 b	0,024 d	0,066 B	0,129 b	0,023 de	0,076 B
		K2	0,044 c	0,020 d	0,032 C	0,048 c	0,020 d	0,034 C	0,050 c	0,021 e	0,036 C
		Ort.	0,082 A**	0,020 B		0,100 A**	0,023 B		0,117 A**	0,024 B	
II	2015	K0	0,144 a**	0,025 d	0,085 A**	0,110 a**	0,021 d	0,066 A**	0,123 a**	0,021 d	0,072 A**
		K1	0,097 b	0,023 d	0,060 B	0,098 b	0,021 d	0,059 B	0,107 b	0,020 d	0,063 B
		K2	0,052 c	0,021 d	0,037 C	0,041 c	0,018 d	0,029 C	0,104 c	0,018 d	0,031 C
		Ort.	0,098 A**	0,023 B		0,083 A**	0,020 B		0,091 A**	0,020 B	
	2016	K0	0,162 a**	0,028 d	0,095 A**	0,126 a**	0,024 d	0,075 A**	0,150 a**	0,024 d	0,087 A**
		K1	0,110 b	0,022 d	0,066 B	0,107 b	0,023 d	0,065 B	0,113 b	0,021 d	0,067 B
		K2	0,060 c	0,025 d	0,040 C	0,046 c	0,020 d	0,033 C	0,042 c	0,019 d	0,031 C
		Ort.	0,111 A**	0,024 B		0,093 A**	0,022 B		0,102 A**	0,022 B	
	2015-2016	K0	0,153 a**	0,027 d	0,090 A**	0,118 a**	0,022 d	0,070 A**	0,137 a**	0,023 d	0,080 A**
		K1	0,104 b	0,022 d	0,063 B	0,103 b	0,022 d	0,062 B	0,110 b	0,021 d	0,065 B
		K2	0,056 c	0,021 d	0,038 C	0,044 c	0,019 d	0,031 C	0,043 c	0,019 d	0,031 C
		Ort.	0,104 A**	0,023 B		0,088 A**	0,021 B		0,096 A**	0,021 B	
I-II	2015-2016	K0	0,137 a**	0,024 c	0,081 A**	0,132 a**	0,024 d	0,078 A**	0,155 a**	0,025 d	0,090 A**
		K1	0,092 b	0,021 d	0,057 B	0,105 b	0,023 d	0,064 B	0,119 b	0,022 d	0,071 B
		K2	0,050 c	0,020 e	0,035 C	0,046 c	0,020 e	0,033 C	0,046 c	0,020 d	0,033 C
		Ort.	0,093 A**	0,022 B		0,094 A**	0,022 B		0,107 A**	0,022 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.51. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarda Ni içeriğine (mg/kg) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	0,375 a**	0,127 d	0,251 A**	0,394 a**	0,126 d	0,260 A**	0,539 a**	0,132 d	0,335 A**
		K1	0,302 b	0,126 d	0,214 B	0,322 b	0,127 d	0,225 B	0,406 b	0,130 d	0,268 B
		K2	0,234 c	0,115 d	0,174 C	0,235 c	0,119 d	0,177 C	0,280 c	0,123 d	0,206 C
		Ort.	0,304A**	0,123 B		0,317 A**	0,124 B		0,411 A**	0,128 B	
	2016	K0	0,400 a**	0,133 d	0,267 A**	0,433 a**	0,127 d	0,280 A**	0,567 a**	0,135 d	0,351 A**
		K1	0,322 b	0,133 d	0,227 B	0,331 b	0,125 d	0,228 B	0,426 b	0,127 d	0,277 B
		K2	0,254 c	0,118 d	0,186 C	0,247 c	0,118 d	0,183 C	0,293 c	0,118 d	0,206 C
		Ort.	0,325 A**	0,128 B		0,337 A**	0,112 B		0,429 A**	0,127 B	
	2015-2016	K0	0,388 a**	0,130 d	0,259 A**	0,414 a**	0,127 d	0,270 A**	0,553 a**	0,134 d	0,343 A**
		K1	0,312 b	0,130 d	0,221 B	0,327 b	0,126 d	0,227 B	0,416 b	0,128 d	0,272 B
		K2	0,244 c	0,117 d	0,180 C	0,241 c	0,119 d	0,180 C	0,291 c	0,121 d	0,206 C
		Ort.	0,315 A**	0,125 B		0,327 A**	0,124 B		0,420 A**	0,128 B	
II	2015	K0	0,401 a**	0,128 d	0,265 A**	0,375 a**	0,123 d	0,249 A**	0,465 a**	0,131 d	0,298 A**
		K1	0,308 b	0,127 d	0,218 B	0,300 b	0,122 d	0,211 B	0,381 b	0,132 d	0,256 B
		K2	0,238 c	0,126 d	0,182 C	0,230 c	0,118 d	0,174 C	0,259 c	0,128 d	0,193 C
		Ort.	0,316 A**	0,127 B		0,302 A**	0,121 B		0,369 A**	0,130 B	
	2016	K0	0,443 a**	0,140 d	0,292 A**	0,425 a**	0,127 d	0,276 A**	0,528 a**	0,128 d	0,328 A**
		K1	0,347 b	0,127 d	0,237 B	0,323 b	0,125 d	0,224 B	0,419 b	0,130 d	0,274 B
		K2	0,282 c	0,131 d	0,206 C	0,243 c	0,118 d	0,181 C	0,272 c	0,127 d	0,200 C
		Ort.	0,357 A**	0,133 B		0,331 A**	0,123 B		0,406 A**	0,128 B	
	2015-2016	K0	0,422 a**	0,134 d	0,278 A**	0,400 a**	0,125 d	0,263 A**	0,497 a**	0,130 d	0,313 A**
		K1	0,328 b	0,127 d	0,227 B	0,312 b	0,124 d	0,218 B	0,400 b	0,131 d	0,265 B
		K2	0,260 c	0,129 d	0,194 C	0,237 c	0,118 d	0,178 C	0,265 c	0,128 d	0,196 C
		Ort.	0,337 A**	0,130 B		0,316 A**	0,122 B		0,387 A**	0,129 B	
I-II	2015-2016	K0	0,405 a**	0,132 d	0,268 A**	0,407 a**	0,126 d	0,267 A**	0,525 a**	0,132 d	0,328 A**
		K1	0,320 b	0,128 d	0,224 B	0,319 b	0,125 d	0,223 B	0,408 b	0,130 d	0,269 B
		K2	0,252 c	0,123 d	0,187 C	0,239 c	0,119 d	0,179 C	0,278 c	0,124 d	0,201 C
		Ort.	0,326 A**	0,128 B		0,322 A**	0,123 B		0,404 A**	0,128 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.7.2. Toprakların fiziksel özellikleri

Deneme topraklarının her iki yılına ait hacim ağırlığı, özgül ağırlık, porozite, agregat stabilitesi değerleri Çizelge 4.52-55, bu değerlere ait varyans analiz sonuçları ise EK 54-57’ de verilmiştir.

YA ve GS sulama yöntemlerinde su kalitesinin ve su kısıtının hacim ağırlığına etkisi önemli ($p<0,01$), YÜ sulama yönteminde ise sadece su kısıtının etkisi ise önemli ($p<0,01$) bulunmuştur (Çizelge 4.52, EK 54). YA ve GS yöntemlerinde en yüksek hacim ağırlıkları temiz su uygulamalarında belirlenmiştir.

Çizelge 3.2’ deki başlangıç değerlerine göre hacim ağırlıkları özellikle atık su uygulamalarında düşüş göstermiştir. Bu düşüşün atık su uygulamasıyla topraktaki organik maddenin artışına (Çizelge 4.32) bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca organik madde miktarı ile hacim ağırlığı arasında yüksek negatif korelasyon ilişkisi de bunu desteklemektedir (EK 64). Biswas *et al.* (2017), atık su uyguladıkları toprakların hacim ağırlıklarında temiz suya göre % 2,23 oranında azalma olduğunu ve bunun toprağın organik maddesinin artışından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Yine su kısıtının artmasıyla hacim ağırlıklarının artış göstermesinin de organik madde miktarının (Çizelge 4.32) azalmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Demir (2016)’in atık suyla yaptığı çalışma sonunda uygulanmış olan su kısıtının toprağın hacim ağırlıklarını artırdığı gözlenmiştir.

YA sulama yönteminde uygulamaların özgül ağırlık üzerine etkisi önemsizken, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde önemli ($p<0,01$) olmuştur (EK 55). Ancak bu farklılıklar çok düşük seviyelerde olduğundan pratik açıdan çok anlamlı olmamıştır. Çok küçük farklılıklarda organik maddeye bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 4.52. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında hacim ağırlığına (g/cm³) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	1,33	1,34	1,34	1,32	1,33	1,33 C**	1,31 c**	1,33 a	1,32 C**
		K1	1,34	1,34	1,34	1,33	1,34	1,34 B	1,32 b	1,34 a	1,33 B
		K2	1,34	1,35	1,35	1,33	1,34	1,34 A	1,33 a	1,34 a	1,34 A
		Ort.	1,34	1,34		1,33 B**	1,34 A		1,32 B**	1,34 A	
	2016	K0	1,33	1,33	1,33 C	1,31 b*	1,33 a	1,32 C**	1,29 c*	1,33 b	1,31 C**
		K1	1,33	1,33	1,34 AB	1,32 b	1,34 a	1,33 B	1,32 b	1,33 ab	1,33 B
		K2	1,34	1,34	1,34 A	1,33 a	1,34 a	1,34 A	1,33 ab	1,34 a	1,34 A
		Ort.	1,33	1,33		1,32 B**	1,34 A		1,31 B**	1,33 A	
	2015-2016	K0	1,34	1,33	1,335 C*	1,32	1,34	1,33 C**	1,30 d**	1,33 b	1,32 C**
		K1	1,34	1,34	1,34 B	1,33	1,34	1,33 B	1,32 c	1,34 a	1,33 B
		K2	1,34	1,35	1,35 A	1,34	1,35	1,34 A	1,34 ab	1,34 a	1,34 A
		Ort.	1,34	1,34		1,33 B**	1,34 A		1,32 B**	1,34 A	
II	2015	K0	1,32	1,35	1,34 C**	1,35	1,34	1,34	1,32	1,36	1,34 C**
		K1	1,33	1,36	1,35 B	1,35	1,34	1,35	1,33	1,36	1,35 B
		K2	1,34	1,36	1,35 A	1,36	1,34	1,35	1,34	1,37	1,36 A
		Ort.	1,33 B**	1,36 A		1,35 A*	1,34 B		1,33 B**	1,36 A	
	2016	K0	1,32	1,35	1,34 C**	1,34	1,34	1,34 C**	1,31 c**	1,36 a	1,33 C
		K1	1,33	1,36	1,35 B	1,35	1,34	1,34 B	1,34 b	1,36 a	1,35 B
		K2	1,34	1,36	1,35 A	1,36	1,36	1,36 A	1,36 a	1,36 a	1,36 A
		Ort.	1,33 B**	1,36 A		1,35	1,34		1,34 B**	1,36 B	
	2015-2016	K0	1,32	1,36	1,34 C**	1,34	1,34	1,34 C**	1,31 c**	1,36 a	1,34 C
		K1	1,33	1,36	1,35 B	1,35	1,34	1,35 B	1,34 b	1,37 a	1,35 B
		K2	1,34	1,36	1,35 A	1,36	1,35	1,36 A	1,35 b	1,37 a	1,36 A
		Ort.	1,33 B**	1,36 A		1,35 A*	1,34 B		1,33 B**	1,36 A	
I-II	2015-2016	K0	1,33	1,34	1,34 C**	1,33	1,34	1,33 C**	1,31 e*	1,34 bc	1,33 C**
		K1	1,33	1,35	1,34 B	1,34	1,34	1,34 B	1,33 d	1,35 ab	1,34 B
		K2	1,34	1,35	1,35 A	1,34	1,35	1,35 A	1,34 c	1,35 a	1,35 A
		Ort.	1,33 B**	1,35 A		1,34	1,34		1,32 B**	1,35 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.53. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında özgül ağırlığa etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	2,673	2,677	2,675 C*	2,657	2,667	2,662 C**	2,653	2,657	2,655 C**
		K1	2,676	2,677	2,677 B	2,677	2,677	2,677 B	2,667	2,677	2,672 B
		K2	2,680	2,687	2,683 A	2,683	2,683	2,683 A	2,683	2,677	2,680 A
		Ort.	2,677	2,680		2,672	2,676		2,668	2,670	
	2016	K0	2,667	2,677	2,671	2,637 c**	2,667 b	2,652 C**	2,627 d**	2,663 b	2,645 C**
		K1	2,670	2,577	2,623	2,667 b	2,673 ab	2,670 B	2,647 c	2,667 b	2,657 B
		K2	2,680	2,683	2,682	2,670 b	2,680 a	2,675 A	2,670 b	2,680 a	2,675 A
		Ort.	2,672	2,646		2,658 B**	2,673 A		2,648 B	2,670 A	
	2015-2016	K0	2,670	2,680	2,675	2,647 c*	2,667 b	2,657 C**	2,643 c**	2,663 b	2,653 C**
		K1	2,677	2,627	2,652	2,673 ab	2,677 a	2,675 B	2,657 b	2,673a	2,665 B
		K2	2,680	2,690	2,685	2,680 a	2,683 a	2,682 A	2,680 a	2,680 a	2,680 A
		Ort.	2,676	2,666		2,667 B**	2,676 A		2,660 B**	2,672 A	
BII	2015	K0	2,653	2,667	2,660 C**	2,657 d	2,683 a	2,670 C*	2,657 c*	2,677 a	2,667 C**
		K1	2,663	2,673	2,668 B	2,670 c	2,680 ab	2,675 B	2,667 b	2,680 a	2,673 B
		K2	2,677	2,683	2,680 A	2,673 bc	2,683 a	2,678 A	2,680 a	2,683 a	2,682 A
		Ort.	2,664 B**	2,674 A		2,667 B**	2,682 A		2,668 B**	2,680 A	
	2016	K0	2,637 b **	2,673 a	2,655	2,647	2,667	2,657 C**	2,647	2,667	2,657 C**
		K1	2,657 a	2,673 a	2,665	2,667	2,677	2,672 B	2,657	2,677	2,667 B
		K2	2,668 a	2,670 a	2,668	2,670	2,683	2,677 A	2,677	2,683	2,680 A
		Ort.	2,653 B**	2,672 A		2,661 B**	2,676 A		2,660 B**	2,676 A	
	2015-2016	K0	2,650	2,673	2,662 C*	2,653 d*	2,677 ab	2,665 C**	2,657	2,673	2,665 C**
		K1	2,663	2,673	2,668 B	2,670 c	2,680 ab	2,675 B	2,663	2,680	2,672 B
		K2	2,673	2,680	2,677 A	2,673 bc	2,683 a	2,678 A	2,680	2,687	2,683 A
		Ort.	2,662 B**	2,676 A		2,666 B	2,680 A		2,667 B**	2,680 A	
I-II	2015-2016	K0	2,660	2,673	2,667	2,650 c*	2,670 b	2,660 C**	2,650 d**	2,667 b	2,658 C**
		K1	2,670	2,650	2,660	2,670 b	2,680 a	2,675 B	2,660 c	2,677 a	2,668 B
		K2	2,680	2,680	2,680	2,673 b	2,683 a	2,678 A	2,680 a	2,680 a	2,680 A
		Ort.	2,670	2,667		2,664 B**	2,668 A		2,663 B**	2,674 A	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Tüm yöntemlerde su kalitesinin ve su miktarının toprakların porozitesine etkisi ($p<0,01$) önemli bulunmuş deneme sonrası değerler deneme öncesi değerlere yakın seyretmiştir (EK 56, Çizelge 3.2). Çizelge 4.54 incelendiğinde genel olarak porozite atık su uygulamalarında daha yüksek belirlenmiştir. Atık su koşullarında toprakta artan organik maddenin daha düşük hacim ağırlığı sağlamasından dolayı porozite üzerine pozitif katkıları söz konusudur. Ayrıca atık su koşullarında bitkilerin daha güçlü gelişim göstermeleri (Çizelge 4.5 ve 4.7) ile de ilişkisi olabilir. Biswas *et al.* (2017), atık su kullanımının temiz suya kıyasla yaklaşık % 5,89 daha yüksek porozite sağladığını ve bunun atık su uygulamasıyla topraklarda bitki köklerinin daha geniş alanlara yayılmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Birçok araştırmacı atık suyun kullanımıyla topraklarda porozitenin arttığını bildirmiştir (Mojid and Wyseure 2013; Tunc and Sahin 2015; Demir 2016). Canbolat vd (1996), gübre ve katı atık uyguladıkları topraklarda organik maddenin, hacim ağırlığının, porozitenin ve su tutma kapasitesinin arttığını bildirmişlerdir. Su kısıtlarında ise artan hacim ağırlıkları porozite de azalmalar ortaya çıkarmıştır. Belirlenmiş olan yüksek korelatif ilişki de bu sonucu desteklemektedir (EK 64).

Tüm yöntemlerde su kalitesinin ve su kısıtının ıslak agregat stabilitesine etkisi önemli ($p<0,01$) olmuş, en yüksek değerler arıtılmış atık su uygulamalarının tam sulama yapılan konularında tespit edilmiştir (Çizelge 4.55, EK 57). Agregat stabilitesi değerleri tüm uygulamalarda başlangıç değerlerinden daha yüksek olmuştur (Çizelge 3.2).

Toprak agregat stabilitesinin YA, YÜ ve GS yöntemlerinde özellikle atık su uygulamalarında artış göstermesi atık suyla sulama koşullarında topraklardaki organik maddenin daha fazla olması (Çizelge 4.32) ile bağlantılı olabilir. Vogeler (2009), uzun süre atık su kullanılan toprak özelliklerini incelemiş olduğu çalışmada atık su kullanımıyla agregat stabilitesinin arttığını bildirmiştir.

Tüm sulama yöntemlerinde su kısıtıyla agregat stabilitesinin düşmesi de toprakta azalan organik madde içeriğiyle ilişkilendirilebilir (4.55). Toprakta organik madde ile agregat stabilitesi arasında yüksek pozitif korelasyon ilişkisi bunu desteklemektedir (EK 64).

Çizelge 4.54. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında porozite (%)’ye etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	50,12	50,06	50,09 A	50,44 a**	50,00 e	50,22 A**	50,75 a**	49,81 e	50,28 A**
		K1	50,06	49,94	50,00 B	50,19 c	50,06 d	50,13 B	50,62 b	49,81 e	50,22 B
		K2	49,88	49,96	49,88 C	50,31 b	49,94 e	50,12 C	50,31 c	49,94 d	50,13 C
		Ort.	50,02 A*	49,96 B		50,31 A**	50,00 B		50,56 A**	49,85 B	
	2016	K0	50,13 b**	50,44 a	50,29 A**	50,44 b**	50,00 c	50,22 A**	50,89 a**	50,19 b	50,54 A**
		K1	49,80 d	48,24 f	49,02 C	50,63 a	49,75 e	50,19 B	50,13 b	50,13 b	50,13 B
		K2	50,00 e	50,06 c	50,03 B	50,06 c	49,88 d	49,97 C	50,19 b	49,88 c	50,04 C
		Ort.	49,98 A**	49,58 B		50,38 A**	49,88 B		50,40 A**	50,07 B	
	2015-2016	K0	50,13 b**	50,26 a	50,19 A**	50,44 a**	50,00 c	50,22 A**	50,83 a**	50,00 a	50,42 A**
		K1	49,94 c	49,09 d	49,51 B	50,42 a	49,91 d	50,16 B	50,38 b	49,97 de	50,18 B
		K2	49,94 c	49,98 c	49,96 C	50,18 b	49,91 d	50,05 C	50,25 c	49,92 e	50,08 C
		Ort.	50,00 A**	49,77 B		50,35 A**	49,94 B		50,49 A**	49,96 B	
II	2015	K0	50,38 a**	49,25 e	49,81 A**	49,18 e**	50,19 a	49,69 A**	50,44 a*	49,32 c	49,88 A**
		K1	50,19 b	49,00 f	49,60 C	49,44 c	49,88 b	49,66 B	50,13 b	49,13 d	49,63 B
		K2	49,94 c	49,32 d	49,63 B	49,25 d	49,94 b	49,59 C	50,12 b	49,07 d	49,60 C
		Ort.	50,17 A**	49,19		49,29 B**	50,00 A		50,23 A**	49,18 B	
	2016	K0	50,06 a**	49,38 d	49,72 A**	49,50 c**	49,88 b	49,69 B**	50,63 a**	49,13 de	49,88 A**
		K1	49,94 b	49,25 e	49,60 B	49,50 c	50,06 a	49,78 A	49,44 b	49,07 e	49,26 B
		K2	49,88 c	49,06 f	49,47 C	49,19 e	49,32 d	49,26 C	49,32 c	49,19 d	49,25 C
		Ort.	49,96 A**	49,23 b		49,40 B**	49,75 A		49,80 A**	49,13 B	
	2015-2016	K0	50,22 a**	49,31 d	49,77 A**	49,34 e**	50,04 a	49,69 B**	50,54 a**	49,23 d	49,88 A**
		K1	50,07 b	49,13 f	49,60 B	49,48 d	49,97 b	49,72 A	49,79 b	49,11 e	49,45 BC
		K2	49,92 c	49,19 e	49,56 C	49,22 f	49,63 c	49,43 C	49,72 c	49,13 e	49,43 C
		Ort.	50,07 A**	49,21 B		49,35 B**	49,88 A		50,01 A**	49,15 B	
I- II	2015-2016	K0	50,17 a**	49,78 d	49,98 A**	49,89 c	50,02 a	49,96 A	50,68 a**	49,61 d	50,15 A**
		K1	50,00b	49,11 f	49,56 C	49,95 b	49,94 b	49,94 AB	50,08 b	49,54 e	49,81 B
		K2	49,93 c	49,58 e	49,76 B	49,70 e	49,77 d	49,74 C	49,99 c	49,52 e	49,75 C
		Ort.	50,04 A**	49,49 B		49,85 B**	49,91 A		50,25 A**	49,56 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.55. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-20 (I) ve 20-40 (II) cm toprak katmanlarında agregat stabilitesi (%)’ne etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS			
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	
I	2015	K0	51,70 a**	47,70 c	49,70 A**	54,87 a**	50,10 c	52,48 A**	53,83	50,87	52,35 A**
		K1	49,30 b	47,40 c	48,35 B	51,83 b	48,30 d	50,07 B	51,70	50,10	50,90 B
		K2	46,87 c	46,93 c	46,90 C	47,97 de	46,70 e	47,33 C	48,30	47,47	47,88 C
		Ort.	49,29 A**	47,34 B		51,56 A**	48,37 B		51,28 A**	49,48 B	
	2016	K0	52,47 a**	48,87 b	50,67 A**	57,10 a*	50,53 bc	53,82 A**	57,80 a**	51,33 b	54,57 A**
		K1	48,57 b	47,80 bc	48,18 B	51,87 b	47,83 cd	49,85 B	52,60 b	49,70 bc	51,15 B
		K2	47,13 c	47,80 bc	47,47 C	48,17 cd	46,90 d	47,53 C	48,07 c	48,17 c	48,12 C
		Ort.	49,39 A**	48,16 B		52,38 A**	48,42 B		52,82 A**	49,73	
	2015-2016	K0	52,10 a**	48,30 bc	50,20 A**	56,00 a**	50,33 b	53,17 A**	55,83 a**	51,13 bc	53,48 A**
		K1	48,97 b	47,63 cd	48,30 B	51,90 b	48,10 c	50,00 B	52,17 b	49,93 cd	51,05 B
		K2	47,00 c	47,37 d	47,18 C	48,10 c	46,18 c	47,45 C	48,20 de	47,87 e	48,03 C
		Ort.	49,36 A**	47,77 B		52,00 A**	48,41 B		52,07 A**	49,64 B	
II	2015	K0	54,37 a**	50,47 b	52,42 A**	52,67 a**	48,47 bc	50,57 A**	51,90 a**	49,53 c	50,72 A**
		K1	50,17 b	48,50 c	49,33 B	49,63 b	47,53 cd	48,58 B	50,33 b	49,30 c	49,82 B
		K2	47,20 c	47,53 c	47,37 C	47,07 d	45,83 e	46,45 C	47,83 d	46,70 e	47,27 C
		Ort.	50,58 A**	48,83 B		49,79 A**	47,28 B		50,02 A**	48,51 B	
	2016	K0	56,33 a**	50,57 b	53,45A**	53,13 a*	48,20 c	50,67 A**	53,63 a*	48,90 bc	51,27 A**
		K1	51,70 b	49,77 bc	50,73 B	50,20 b	46,27 de	48,23 B	49,80 b	47,63 c	48,72 B
		K2	48,23 c	47,87 c	48,05 C	47,63 cd	45,90 e	46,77 C	47,20 cd	45,50 d	46,35 C
		Ort.	52,09 A**	49,40 B		50,32 A**	46,79 B		50,21 A**	47,34 B	
	2015-2016	K0	55,40 a**	50,57 b	52,98 A**	52,93 a**	48,37 c	50,65 A**	52,80 a**	49,23 c	51,02 A**
		K1	50,97 b	49,17 c	50,07 B	49,97 b	46,93 d	48,45 B	50,10 b	48,47 c	49,28 B
		K2	47,73 d	47,70 d	47,72 C	47,37 d	45,87 e	46,62 C	47,53 d	46,13 e	46,83 C
		Ort.	51,37 A**	49,14 B		50,09 A**	47,06 B		50,14 A**	47,94 B	
I-II	2015-2016	K0	53,73 a**	49,40 b	51,57 A**	54,47 a**	49,33 c	51,90 A**	54,30 a**	50,17 c	52,23 A**
		K1	49,93 b	48,37 c	49,15 B	50,90 b	47,50 d	49,20 B	51,13 b	49,17 d	50,15 B
		K2	47,37 d	47,57 d	47,47 C	47,73 d	46,37 e	47,05 C	47,87 e	47,00 f	47,43 C
		Ort.	50,34 A**	48,44 B		51,03 A**	47,73 B		51,10 A**	48,78 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama;

K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.7.3. Toprakların hidrolik özellikleri

Deneme topraklarının her iki yılına ait tarla kapasitesi (TK) ve devamlı solma noktasında (SN) tutulan su miktarları ile yarayışlı su tutma kapasitesi (STK)'ne ait değerler Çizelge 4.56-58, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları ise EK 58-60'da verilmiştir.

İki yıllık ortalamalar dikkate alındığında YA ve YÜ sulama yöntemlerinde, TK değerine sadece su kısıtının etkisi önemli iken ($p<0,01$); GS sulama yönteminde ise hem su kalitesi hem de su kısıtının ($p<0,01$) etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.56, EK 58). YA ve YÜ sulama yöntemlerinde su kalitesinin etkisi önemsiz bulunmasına rağmen tüm yöntemlerde en yüksek değerler atık su uygulamalarından elde edilmiştir. Atık su uygulanan sulama koşullarında TK'nin daha fazla olması suyun içerisindeki organik bileşiklerin toprak yapısı üzerine pozitif etkisinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Bu etki atık suyla tam sulanan konularda daha belirgin olarak ortaya çıkmış ve bu nedenle de başlangıç değerleri üzerinde TK değerleri görülmüştür. Bazı araştırmacılarda atık su uygulamalarının toprakların TK değerini artırdığını bildirmişlerdir (Mekki *et al.* 2006; Tunç 2013; Tunc and Sahin 2015). Tarla kapasitesinde tutulan suyun tüm yöntemlerde su kısıtıyla azalmış olması TK'yı etkileyen toprak yapısı üzerinde bitki köklerinin farklı gelişmelerinin yansımalarının bir sonucu olabilir.

Tüm sulama yöntemlerinde su kalitesinin SN değerine etkisi önemsiz bulunmuştur. İki yıllık ortalamalara göre devamlı solma noktasında tutulan su miktarına su kısıtının etkisi ise sadece GS sulama yönteminde $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.57, EK 59). Deneme sonrası SN değerleri deneme öncesi değerlerin kısmen üzerinde belirlenmiştir. Özellikle atık suyun tam sulanan koşullarında en yüksek değerler gözlemlenmiştir. Bu durum gerek atık suyla ortama daha fazla organik bileşiklerin girişi gerekse tarımsal faaliyetlerden dolayı topraklarda kısmen artan organik maddenin etkisi olarak değerlendirilebilir (Ergene 1987).

Toprakların yarayışlı su miktarı değerleri deneme sonrası genel anlamda azalan TK ve artan SN değerlerine bağlı olarak başlangıç değerlerinden daha düşük belirlenmiştir. Su

kalitesinin yarayışlı suya etkisi her üç sulama yönteminde de önemsiz, su kısıtının etkisi ise YA ve YÜ sulama yöntemlerinde önemli seviyede belirlenmiştir (Çizelge 4.58, EK 60). Su kısıtıyla gerçekleşen azalışın ve atık su uygulamalarında görülen artışın topraktaki organik madde miktarı, agregat stabilite ve poroziteyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (EK 64). Tunç (2013) ve Demir (2016) atık su uygulamalarıyla topraktaki organik madde, porozite ve agregat stabilitesi artışının tarla kapasitesi, devamlı solma noktası ve yarayışlı suyun artışı ile bağlantılı olabileceğini bildirmişlerdir.



Çizelge 4.56. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki tarla kapasitesinde tutulan suya (% Pw) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	30,6	30,1	30,3 A**	30,3	30,2	30,3 A**	30,1	29,7	30,0 A*
	K1	29,7	29,7	29,7 B	29,3	29,2	29,2 B	29,3	28,6	29,0 B
	K2	29,1	29,1	29,1 C	28,9	28,9	28,9 C	28,3	28,7	28,8 C
	Ort.	29,8	29,6		29,5	29,4		29,5	29,0	
2016	K0	31,6	30,9	31,2 A**	31,3	30,6	30,9 A**	31,4 a**	29,2 b	30,3 A**
	K1	30,2	29,8	30,0 B	30,1	29,6	29,9 B	29,4 b	29,4 b	29,4 B
	K2	29,5	29,1	29,3 C	29,0	29,1	29,1 C	29,0 b	29,1 b	29,0 C
	Ort.	30,4	29,9		30,1	29,8		29,9	29,2	
2015-2016	K0	31,1	30,5	30,8 A**	30,8	30,4	30,6 A**	30,8 a*	29,5 b	30,2 A**
	K1	29,9	29,8	29,8 B	29,7	29,4	29,5 B	29,3 b	29,0 b	29,2 B
	K2	29,3	29,1	29,2 C	29,0	29,0	29,0 C	29,0 b	28,9 b	28,9 C
	Ort.	30,1	29,8		29,8	29,6		29,7 A**	29,1 B	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.57. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki devamlı solma noktasında tutulan suya (% Pw) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	19,4	19,1	19,2	18,9	18,9	18,9	19,2	18,5	18,9
	K1	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0	19,1	18,9	19,0
	K2	19,0	18,9	18,9	19,0	18,6	18,8	18,5	18,8	18,6
	Ort.	19,2	19,0		19,0	18,8		18,9	18,7	
2016	K0	20,0	19,9	20,0	19,6	19,1	19,4	19,9	19,6	19,7
	K1	19,7	19,3	19,5	19,4	19,2	19,3	19,4	19,7	19,6
	K2	19,3	19,1	19,2	19,1	19,1	19,1	18,9	19,1	19,0
	Ort.	19,6	19,4		19,4	19,1		19,4	19,5	
2015-2016	K0	19,7	19,5	19,1	19,3	19,0	19,1	19,5	19,1	19,3 A*
	K1	19,4	19,2	19,3	19,2	19,1	19,1	19,3	19,3	19,3 B
	K2	19,1	19,0	19,6	19,1	18,8	18,9	18,7	18,9	18,8 C
	Ort.	19,4	19,2		19,2	19,0		19,2	19,1	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.58. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların 0-30 cm toprak katmanındaki tutulan yarayışlı suya (mm) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	44,6	44,1	44,3	45,8	45,0	45,4 A*	43,3	45,3	44,3
	K1	42,0	43,3	42,6	41,6	41,0	41,3 B	40,6	39,4	40,0
	K2	40,7	41,2	40,9	40,0	41,5	40,8 C	41,9	40,5	41,2
	Ort.	42,4	42,8		42,5	42,5		41,9	41,7	
2016	K0	46,0	44,1	45,1 A**	46,2	46,0	46,1 A**	45,0	38,7	41,9
	K1	41,9	42,4	42,2 B	43,0	41,9	42,5 B	39,7	39,1	39,4
	K2	41,3	40,4	40,8 C	40,0	40,8	40,4 C	40,5	40,5	40,5
	Ort.	43,01	42,3		43,1	42,9		41,8	39,5	
2015-2016	K0	45,3	44,4	44,7 A**	46,0	45,5	45,8 A**	44,1	42,0	43,1
	K1	42,0	42,9	42,4 B	42,3	41,4	41,9 B	40,2	39,3	39,7
	K2	41,0	40,8	40,9 C	40,0	41,1	40,6 C	41,2	40,5	40,9
	Ort.	42,7	42,6		42,8	42,7		41,8	40,6	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

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

Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama ile geleneksel karık sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında WUE ve IWUE değerleri Çizelge 4.59 ve 4.60' da, varyans analiz sonuçları da EK 61 ve 62'de verilmiştir.

YA ve YÜ sulama yöntemlerinde iki yıllık ortalama WUE değerlerine su kalitesinin ve su kısıtının etkisi $p<0.01$ düzeyinde önemli, GS sulama yönteminde ise sadece sulama suyu miktarının etkisi önemli ($p<0.01$) olmuştur (EK 61).

Çizelge 4.59 incelendiğinde her üç yöntemde de en yüksek WUE'nin atık suyla tam sulama uygulaması yapılan konulardan, en düşük ise en fazla kısıt uygulaması yapılan konulardan elde edildiği görülmektedir. YA ve YÜ sulama yöntemlerinde GS sulama yöntemine kıyasla yüksek WUE'nin belirlenmesi, YA ve YÜ sulama yöntemlerinde uygulanan daha az suyun bitki su tüketimini (Şekil 4.6) azaltması ve ikinci olarak ta GS'ye göre daha fazla silajlık ot verimlerinin alınmasından kaynaklanmaktadır (Çizelge 4.7). Atık suyun besleyici özelliğinin ve atık suyla sulama koşullarında toprak verimliliğinin yüksek oluşunun verime pozitif katkılarıyla atık su koşullarında daha yüksek WUE değerleri belirlenmiştir. Benzer şekilde IWUE'de atık suyla sulama koşullarında YA ve YÜ sulama yöntemlerinde daha yüksek belirlenmiş GS sulama yönteminde ise bu etki görülmemiştir (Çizelge 4.60, EK 62). Hassanli *et al.* (2009) ve Tunc and Sahin (2017), çalışmalarında en yüksek WUE ve IWUE değerlerini atık su uygulamalarından elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Su kısıtıyla verimdeki azalış WUE'de de benzer trend de azalış ortaya çıkarmıştır. Azalan su miktarları başlangıçta IWUE değerlerini arttırırken artan kısıt tekrar tam sulamaya göre önemli seviyede düşüş ortaya çıkarmıştır.

En yüksek WUE ve IWUE değerlerinin belirlendiği YA sulama yönteminde atık suyla tam sulanan koşullarda WUE değerleri YÜ ve GS yöntemlerinden sırasıyla % 28,2 ve %

99,4 daha yüksek, IWUE değerlerinde sırasıyla % 33,7 ve % 127,3 daha yüksek belirlenmiştir.

Birçok çalışmada da YA sulama yönteminde daha yüksek WUE ve IWUE değerlerinin elde edildiğine vurgu yapılmıştır. Ghamarnia and Sepehri (2010), aspir bitkisinde yaptıkları çalışmada en yüksek WUE ve IWUE değerlerini yüzey altı damla sulama yönteminde, en düşük değerleri ise karık sulama yönteminde belirlemişlerdir. Kalfountzos *et al.* (2007), pamuk bitkisinde yaptıkları çalışmada YA sulama yönteminde YÜ yöntemine göre yaklaşık % 20 daha yüksek WUE değeri elde edildiğini bildirmişlerdir. Yine Kırnak vd (2002b), biber bitkisinde yüzey altı damla sulamanın yüzey üstü damla sulamaya göre daha yüksek IWUE ve WUE değeri sağladığını bildirmişlerdir. Machado *et al.* (2005), domates bitkisinde yaptıkları çalışmada, YA yönteminde YÜ yöntemine göre daha yüksek IWUE değeri elde etmişlerdir.

Su kısıtıyla WUE ve IWUE değişimleriyle ilgili olarak da çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Naghashzadeh *et al.* (2015) silajlık mısırdaki yapmış oldukları çalışma sonunda su kısıtının artmasıyla WUE değerlerinin düşüş gösterdiğini bildirmişlerdir. Farré and Faci (2009), silajlık mısırdaki yaptıkları çalışmada, sulama suyu miktarının azalmasıyla IWUE değerlerinin de azaldığını bildirmişlerdir. Yine aynı şekilde sulama suyu miktarının azalmasıyla WUE ve IWUE değerinin azaldığını belirten birçok farklı çalışmada bulunmaktadır (Ucar *et al.* 2011; Demirel vd 2012; Kuscü *et al.* 2014).

Çizelge 4.59. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların su kullanım etkinliğine (WUE) (kg/m³) etkisi

Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	19,14 a**	17,97 b	18,55 A**	15,05	14,01	14,53 A**	10,08 a**	9,78 b	9,93 A**
	K1	17,24 c	15,32 d	16,28 B	14,72	13,86	14,29 B	9,80 b	8,89 c	9,35 B
	K2	8,88 f	9,51 e	9,20 C	8,36	7,93	8,15 C	5,97 e	7,13 d	6,55 C
	Ort.	15,09 A**	14,27 B		12,71 A**	11,94		8,62	8,60	
2016	K0	23,81 a**	22,01 b	22,91 A**	18,46 a*	16,56 b	17,51 A**	11,46 ab*	10,18 b	11,14 A**
	K1	23,37 a	21,42 b	22,39 B	19,16 a	17,32 b	18,24 B	11,93 a	11,46 ab	11,70 B
	K2	10,18 d	12,67 c	11,43 C	9,70 c	9,41 c	9,56 C	6,70 c	7,13 c	6,92 C
	Ort.	19,12	18,70		15,77 A**	14,43 B		10,03	9,80	
2015-2016	K0	21,48 a**	19,99 b	20,74 A**	16,75 a**	15,29 b	16,02 A**	10,77 a**	10,30 b	10,53 A**
	K1	20,30 b	18,37 c	19,34 B	16,94 a	15,59 b	16,26 B	10,87 a	10,17 b	10,52 B
	K2	9,53 e	11,09 d	10,31 C	9,03 c	8,67 c	8,85 C	6,34 d	7,13 c	6,74 C
	Ort.	17,10 A**	16,48 B		14,24 A**	13,18 B		9,32	9,20	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.60. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların sulama suyu kullanım etkinliğine (IWUE) (kg/m³) etkisi

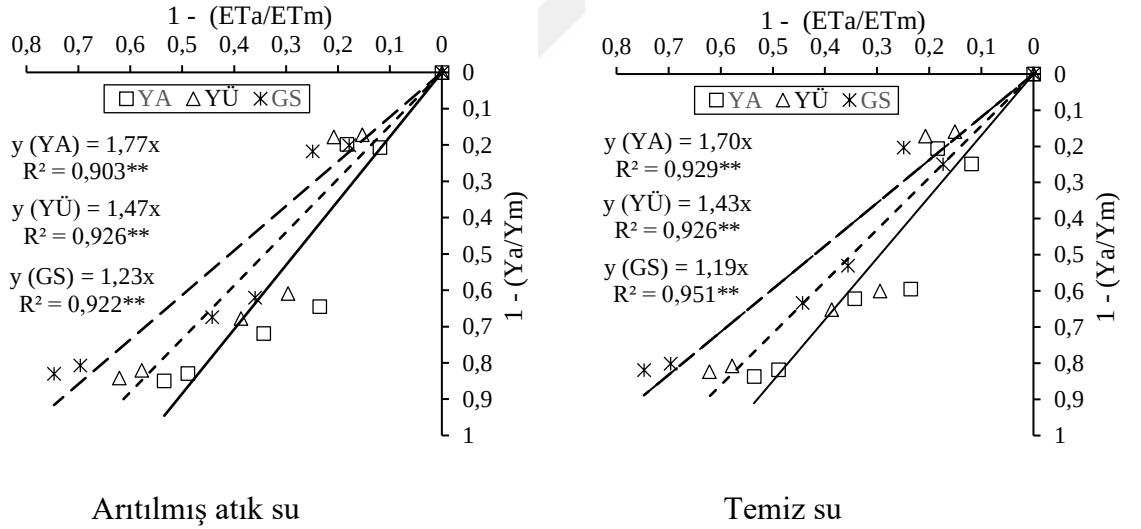
Yıl	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
2015	K0	20,20 a**	18,73 b	19,47 A**	15,07	18,83	14,45 B**	9,03 ab**	8,70 b	8,86 A**
	K1	19,87 a	17,08 c	18,48 B	16,07	14,95	15,51 A	9,51 a	8,40 b	8,95 A
	K2	8,41 e	9,56 d	8,98 C	7,93	7,22	7,58 C	4,80 d	6,77 c	5,79 B
	Ort.	16,16 A**	15,12 B		13,02 A**	12,00 B		7,78	7,96	
2016	K0	23,62 ab**	21,60 c	22,61 B**	17,70	15,57	16,64 B**	10,26	9,58	9,92 A**
	K1	24,99 a	22,49 bc	23,74 A	19,63	17,34	18,49 A	10,93	10,39	10,66 A
	K2	7,91 e	12,16 d	10,04 C	8,01	7,54	7,77 C	4,89	5,54	5,22 C
	Ort.	18,84	18,75		15,11 A**	13,48 B		8,69	8,51	
2015-2016	K0	21,91 a**	20,17 b	21,04 A**	16,39	14,70	15,54 B**	9,64 b**	9,14 c	9,39 B**
	K1	22,43 a	19,79 b	21,11 A	17,85	16,14	17,00 A	10,22 a	9,39 bc	9,81 A
	K2	8,16 d	10,86 c	9,51 B	7,97	7,38	7,67 C	4,85 e	6,16 d	5,50 C
	Ort.	17,50 A**	16,94 B		14,07 A**	12,74 B		8,24	8,23	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

4.9. Su verim ilişkisi

Suyla verim arasındaki ilişkiyi açıklamada kullanılan verim tepki faktörü “ky” değerinin düşük olması, su kısıtıyla verimdeki azalışın daha az olacağını ve bunun sonucunda da bitkinin oluşan su açığına daha az duyarlı olacağını ifade etmektedir (Kodal 1993; Yıldırım 1996). Doorenbos and Kasam (1979), mısır bitkisi için mevsimlik ky değerini 1,25 olarak bildirmiştir.

Denemenin iki yıllık silajlık ot verimi ile bitki su tüketimleri dikkate alınarak belirlenen ky değerleri YA sulama yönteminde AS ve TS uygulamalarında sırasıyla 1,77 ve 1,70; YÜ sulama yönteminde 1,47 ve 1,43; GS yönteminde ise 1,23 ve 1,19 olmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Arıtılmış atık ve temiz su uygulamalarında verim tepki faktörleri (ky)

Tüm sulama yöntemlerinde arıtılmış atık su uygulamalarında ky değerleri daha yüksek bulunmuştur. Arıtılmış atık su uygulamalarında ky değerinin temiz suya kıyasla yüksek olması özellikle tam sulama koşullarında verimin istatistiksel olarak daha yüksek miktara ulaşmasıyla açıklanabilir (Çizelge 4.7).

Sulama yöntemleri bazında ky değerleri incelendiğinde her iki su kalitesinde en yüksek ky değerleri sırasıyla YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde belirlenmiştir. YA ve YÜ sulama yöntemlerinde GS yöntemine göre daha yüksek ky değerlerinin belirlenmesi yine bu yöntemlerde tam sulama koşullarında verimin daha yüksek seviyelerde olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Cakir (2004) karık sulama yöntemiyle mısırdaki yapmış olduğu çalışmada, iklimin kurak gittiği yılda ky değerini 1,36, yağışlı yılda ise 0,81 olarak belirlemiştir. Kaman (2007), damla sulama yöntemiyle mısır bitkisinde, ky değerlerini kısıta göre değişiklik göstermekle birlikte 1,13 ve 1,78 arasında değiştiğini bildirmiştir.

4.10. Ekonomik analiz

Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama ile geleneksel karık sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında 1 kg silajlık mısır üretim maliyetleri Çizelge 4.61 ve 4.62’ de, alan büyüklüklerine göre maliyet dağılımı da EK 65’de verilmiştir.

Damla sulama yöntemlerinde birinci yılda kurulum masraflarından dolayı maliyet yüksek olmuştur (EK 65). Üretim miktarı en fazla olan YA sulama yöntemi en fazla geliri sağlamıştır. Bunu YÜ ve GS sulama yöntemleri izlemiştir. Su kısıtının artmasıyla verim azalmış, buna bağlı olarak kazançta azalmıştır.

Arıtılmış atık suyun araziye taşınması da toplam maliyeti önemli miktarda artırmıştır (EK 65). Deneme alanının, arıtılmış atık suya yakın olduğu koşullarda taşıma maliyeti ve sistemin ilk kurulumundan sonraki yıllarda da sistem kurulum maliyetinin olmayacağı dikkate alındığında üretim maliyetinin çok daha düşük olacağı görülmektedir (Çizelge 4.62). YA sulama yönteminde kullanılan laterallerin uzun ömürlü olacağı dikkate alındığında özellikle tam sulama koşullarında, uzun yıllar boyunca düşük üretim maliyetlerinin elde edileceği açıktır. Ancak ilk kurulum yılı ve atık su taşıma maliyeti söz

konusu olduğunda atık suyla tam sulanan YÜ sulama yöntemi en düşük üretim maliyetini sağlamaktadır.

Alan büyüklüğünün artmasıyla alet ekipmanın daha rantabl kullanılması maliyeti azaltmaktadır. Alan büyüklüğünün 10 da'ın üzerine çıktığı koşullarda bütün sulama yöntemlerinde üretim maliyetinin önemli derecede azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.61 ve 4.62). Çarkacı vd (2016), tarım alanlarının parçalı olmasının üretim maliyetini arttırdığını, bu nedenle arazi toplulaştırma çalışmalarının hız kazanarak bir an önce tamamlanması gerektiğini önermişlerdir. Özdüzen (2004) ve Talmaç (2006), farklı sulama yöntemlerinde ürün maliyetleri belirledikleri çalışmalarda büyük alanlarda (>50 da) fayda/maliyet oranının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.61. Farklı sulama yöntemlerinde ilk kurulum yılında atık su taşımali koşullarında 1 kg silajlık mısırın maliyeti (TL)

Alan	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
1 da	K0	1,77	1,30	1,54	1,36	0,67	1,02	1,67	0,42	1,05
	K1	2,04	1,68	1,86	1,39	0,80	1,10	1,63	0,55	1,09
	K2	4,69	3,32	4,01	2,67	1,78	2,23	2,62	1,02	1,82
	Ort.	2,83	2,10		1,81	1,08		1,97	0,66	
10 da	K0	1,42	0,92	1,17	0,99	0,26	0,63	1,40	0,15	0,78
	K1	1,60	1,19	1,40	0,95	0,32	0,64	1,30	0,19	0,75
	K2	3,59	2,36	2,98	1,63	0,71	1,17	1,87	0,36	1,12
	Ort.	2,20	1,49		1,19	0,43		1,52	0,23	
100 da	K0	1,38	0,88	1,13	1,01	0,29	0,65	1,35	0,10	0,73
	K1	1,55	1,13	1,34	1,23	0,35	0,79	1,23	0,12	0,68
	K2	3,45	2,24	2,87	1,69	0,77	1,23	1,72	0,23	0,98
	Ort.	2,13	1,42		1,31	0,47		1,43	0,15	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: p<0,05 **: p<0,01

Çizelge 4.62. Farklı sulama yöntemlerinde ilk kurulum yılı sonrası atık su taşınım maliyetinin olmaması koşullarında 1 kg silajlık mısırın maliyeti (TL)

Alan	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
1 da	K0	0,232	0,262	0,247	0,243	0,281	0,262	0,261	0,288	0,275
	K1	0,290	0,339	0,315	0,295	0,336	0,316	0,331	0,372	0,352
	K2	0,732	0,670	0,701	0,684	0,752	0,718	0,743	0,691	0,717
	Ort.	0,414	0,424		0,407	0,456		0,445	0,450	
10 da	K0	0,062	0,081	0,071	0,065	0,086	0,076	0,070	0,089	0,079
	K1	0,078	0,104	0,091	0,079	0,103	0,091	0,089	0,115	0,102
	K2	0,197	0,206	0,201	0,184	0,231	0,208	0,200	0,212	0,206
	Ort.	0,112	0,130		0,109	0,140		0,120	0,139	
100 da	K0	0,045	0,062	0,053	0,047	0,066	0,057	0,048	0,065	0,056
	K1	0,056	0,080	0,068	0,057	0,079	0,068	0,060	0,084	0,072
	K2	0,142	0,158	0,150	0,133	0,178	0,155	0,136	0,156	0,146
	Ort.	0,081	0,100		0,079	0,108		0,081	0,102	

YA: yüzey altı damla sulama; YÜ: yüzey üstü damla sulama; GS: geleneksel karık sulama; AS: arıtılmış atık su; TS: temiz su; K0: tam sulama; K1: % 33 kısıtlı sulama; K2: % 67 kısıtlı sulama; *: $p < 0,05$ **: $p < 0,01$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yarı kurak iklim koşullarında gerçekleştirilmiş olan çalışmada, Van ili kentsel arıtma tesisi arıtılmış atık suyunun (AS) temiz suyla (TS) kıyaslanarak silajlık mısır yetiştiriciliğinde kullanılabilirliği üç farklı sulama yöntemi [yüzey altı damla sulama (YA), yüzey üstü damla sulama (YÜ) ve geleneksel karık sulama (GS)] ve üç farklı sulama seviyesi [(tam sulama (K0), % 33 kısıtlı sulama (K1) ve % 67 kısıtlı sulama (K2)] uygulanarak araştırılmıştır. Denemede AS uygulamasının bitki gelişimine, toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerine etkisi, silajlık mısırın bitki su tüketimi, sulama suyu gereksinimi, su kullanım etkinliği, silajlık ot verimi, silajlık ot kalitesi, bitki ve topraktaki makro, mikro ve ağır metal içerikleri belirlenmiş, ekonomik analizle de değerlendirilip aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Temiz ve arıtılmış atık suların pH, EC, SAR değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Kıtaçi su kaynakları sınıflandırmasına ve Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre kullanımında sıkıntı olmayan 1. ve 2. sınıf sular sınıfında yer almışlardır. Damla sulama yöntemlerinde damlaticıların tıkanmasında önemli göstergeler olan askıda katı madde miktarı ve Langelier Saturasyon İndeksi değeri de düşük belirlenmiş olup, hacim- zaman ölçümlerine dayalı gözlemlerle de herhangi bir tıkanma riski bulunmadığı tespit edilmiştir. Toprakların fiziksel özelliklerinde bozulmayı değerlendirmede önemli bir parametre olan RSC miktarı da sınır değerin çok altında kalmıştır. Bitki için toksik etkisi olabilecek olan Na, Cl ve Bor içeriklerinin de sorun oluşturmadığı görülmüştür. Ağır metallerin arıtılmış atık sudaki içerikleri de sınır değerlerin altında kalmıştır. Arıtılmış atık sular içermiş oldukları toplam N, toplam P içerikleri ve BOİ₅ değeri bakımından ise 4. sınıf sular sınıfında yer almıştır. Fekal koliform miktarı arıtılmış atık sularda Kıtaçi su kaynakları sınıflandırmasına göre 2. sınıf olarak değerlendirilmiştir.

Sulama suyu gereksinimi ve bitki su tüketimi en düşük YA sulama yönteminde, en yüksek ise GS sulama yönteminde belirlenmiştir. YA sulama yönteminde YÜ ve GS sulama

yöntemlerine kıyasla sırasıyla % 21 ve % 49 sulama suyu tasarrufu sağlanmıştır. Dolayısıyla bitki su tüketimi de YA sulama yönteminde YÜ ve GS sulama yöntemlerine göre sırasıyla yaklaşık % 15 ve % 38 daha az gerçekleşmiştir. AS koşullarında kısmen daha düşük bitki su tüketimleri belirlenmiştir.

Silajlık ot ve kuru madde verimleri AS koşullarında tam sulanan konularda en yüksek olmuş ve su kısıtıyla azalmıştır. YA, YÜ ve GS sulama yöntemlerinde AS uygulamalarında TS uygulamalarına kıyasla sırasıyla % 7,1, % 9,3 ve % 4,4 daha fazla silajlık ot verimi elde edilmiştir.

Silajlık mısırın protein içeriği AS koşullarında TS'ye kıyasla yaklaşık % 17 daha fazla belirlenmiştir. Yöntemler bazında protein içeriği sıralaması YA > YÜ > GS şeklinde gerçekleşmiştir. ADF ve NDF oranları AS koşullarında TS'ye göre daha düşük belirlenmiş, en düşük ise YA sulama yönteminde elde edilmiştir. Su kısıtı ADF ve NDF'yi artırırken, protein oranını azaltmıştır.

AS uygulamaların bitki N, P, K ve Mg içeriklerinde % 26 - % 57, Ca içeriğinde ise % 6- % 17 arasında artışlar sağlamıştır. Bütün sulama yöntemlerinde birikim Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd sıralaması şeklinde olmuş, değerler bitkiye toksik seviyelerin altında kalmıştır. Bitkideki makro, mikro ve iz element içerikleri bütün sulama yöntemlerinde su kısıtıyla azalışlar göstermiştir.

Bitkinin SPAD değerleri, yaprak oransal su içeriği, yaprak alanı ve membran zararlanma indeksi değerleri bütün sulama yöntemlerinde AS uygulamasında daha yüksek belirlenmiştir. Membran zararlanması artarken diğer fizyolojik özellikler uygulanan sulama suyunun azalmasıyla düşüş göstermiştir.

AS uygulamalarında toprakların pH'sı, deneme öncesi değerlere göre azalmıştır. AS koşullarında toprakların EC değeri ve organik madde miktarı artmış, bu artış GS sulama yönteminde daha belirgin şekilde görülmüştür. Toprakların deneme sonunda organik

madde içeriği çok az sınıfından az sınıfına yükselmiştir. AS uygulamalarıyla toprak pH'sının düşmesine bağlı olarak CaCO_3 içeriğinin de azaldığı görülmüştür.

Tam sulanan konularda toprakların değişebilir katyon (Ca, Mg, Na ve K) içerikleri başlangıç değerlerinden fazla belirlenmiş ve bu durum AS koşullarında daha belirgin olmuştur. Toprakların değişebilir Na içeriklerinin artışı ile ESP değerlerinin de artması beklenen bir durumdur. Deneme sonunda topraklarda en yüksek ESP değeri atık su uygulamasında 2,83 olarak belirlenmiş olup, sorunlu topraklar sınır değerinin çok altında kaldığı görülmüştür.

Toprakların toplam N, P_2O_5 ve K_2O içerikleri AS koşullarında daha fazla belirlenmiş, başlangıç değerlerine göre artış göstermiştir. Artırılmış atık suyla tam sulanan koşullarda N içeriğinin başlangıç değerlerine göre % 50 civarında arttığı görülmüştür. Ağır metal içerikleri en yüksek suyun en fazla uygulandığı GS sulama yönteminde belirlenmiştir. Deneme sonunda toprakta araştırılan tüm ağır metaller başlangıç değerlerine göre yüksek bulunmuş olmasına rağmen Ulusal Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin çok altında kaldığı görülmüştür.

Toprakların fiziksel ve hidrolik özellikleri tüm yöntemlerde su kısıtıyla ve su kalitesiyle birlikte önemli değişimler göstermiştir. Deneme sonunda özellikle AS uygulamalarında toprakların başlangıç değerlerine göre hacim ağırlıkları düşük, agregat stabilitesi ve porozite değerleri daha yüksek belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerdeki düşüş ve artışların atık su uygulamasıyla topraklardaki organik madde artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hidrolik özelliklerden tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası başlangıç değerlerine göre AS koşullarında artmış, ancak genelde tarla kapasitesi düşmüş devamlı solma noktası artmış, tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasının bu değişimiyle yarayışlı su miktarı başlangıç değerlerinin altında kalmıştır.

Su kullanım etkinliği (WUE) ve sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) AS koşullarında daha yüksek belirlenmiştir. Tüm yöntemlerde WUE ve IWUE değerleri su kısıtıyla

beraber düşüşler göstermiştir. Ancak hem WUE hem de IWUE’ de % 33 kısıt uygulanan konularda tam sulamaya yakın değerler elde edilmiştir. Her iki su kalitesinde de YA yöntemi YÜ ve GS yöntemine göre WUE’de sırasıyla en az % 20 ve % 80 artışlar sağlamıştır. IWUE değerleri de AS koşullarda YA yönteminde YÜ ve GS yöntemine göre sırasıyla % 24 ve % 112, temiz su koşullarında ise sırasıyla % 33 ve % 106 daha yüksek belirlenmiştir.

Sulama yöntemlerine göre verim tepki faktörü (ky) değerleri YA sulama yönteminde AS ve TS uygulamalarında sırasıyla 1,77 ve 1,70; YÜ sulama yönteminde 1,47 ve 1,43; GS yönteminde ise 1,23 ve 1,19 olarak belirlenmiştir. YA ve YÜ yöntemlerinde tam sulama koşullarındaki daha yüksek verimler “ky” değerlerindeki artışı desteklemiştir.

Elde edilen tüm sonuçlara göre farklı sulama yöntemleriyle arıtılmış atık su uygulamaların bitkinin fiziksel, fizyolojik özellikleri ve kalitesinde; toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerinde olumlu gelişmeler sağlamıştır. Arıtılmış atık su kullanımıyla topraklarda makro, mikro ve iz elementlerde de artışlar görülmüş, özellikle artan silajlık ot veriminin yanında azalan su miktarının da etkisiyle su kullanım verimliliği artırılabilmiştir.

Arıtılmış atık suların temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu koşullar ve atık suyun bertarafı kapsamında silajlık mısır yetiştiriciliğinde kısa sürelerde herhangi bir sorun yaratmadan kullanılabileceği, sulama suyunun etkin kullanımı için % 33 kısıt uygulamasının seçilebileceği, daha fazla su tasarrufu için de damla sulama yöntemlerinden özellikle yüzey altı damla sulama yönteminin uygun olacağı ifade edilebilir.

Sulama sisteminin kurulum maliyeti ve su taşıma bedeli dikkate alındığında AS koşullarında en ekonomik yöntem YÜ sulama yöntemi, TS koşullarında ise GS sulama yöntemini olmuştur. İlk kurulum yılı dışında atık su taşıma bedeli de söz konusu olmadığında YA sulama yönteminin tam sulanan konusunda en düşük silajlık mısır üretim maliyeti sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., Bagheri, M.R., 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil Environment*, 52(8), 335-344.
- Açıkgöz, N., 1993. Tarımda Araştırma ve Deneme Metodları. E.Ü.Z.F. Yayınları, No: 478, III. Basım, İzmir.
- Adrover, M., Farrús, E., Moyà, G., Vadell, J., 2012. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management*, 95, 188-S192.
- Agyei, P.A., Ensink, J., 2016. Wastewater use in urban agriculture: an exposure and risk assessment in Accra, Ghana. *Journal of Science and Techn.*, 36(1), 7-14.
- Ahmadi Aghtape, A., Ghanbari, A., Sirousmehr, A., Siahsar, B., Asgharipour, M., Tavassoli, A., 2011. Effects of irrigation with wastewater and foliar fertilizer application on some forage characteristics of foxtail millet (*Setaria italic*), *Internat. Journal of Plant Physiology Biochemistry*, 3(3), 34-42.
- Ahmed, T.A., Al-Hajri, H.H., 2009. Effects of treated municipal wastewater and sea water irrigation on soil and plant characteristics. *International Journal of Environmental Research*, 3(4), 503-510.
- Ak, A., 2017. Banaz Koşullarında silajlık mısır çeşitlerinin verimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Akbay, S., 2012. Tokat ekolojik koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilecek silajlık mısır (*Zea mays* l.) çeşitlerinin verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tokat.
- Akdeniz, H., Yılmaz, İ., Andiç, N., Zorer, Ş., 2004. Bazı mısır çeşitlerinde verim ve yem değerleri üzerine bir araştırma, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14 (1), 47-51.
- Akın, H.F., 2015. Nilüfer çayı ve farklı arıtma tesisleri atık sularının, toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- 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.
- Ali, H.M., Alamri, S.A., Siddiqui, M.H., Al-Khaishany, M.Y., Al-Qutami, M.A., Alakeel, K.A., 2017. Performance of growth and nutrient content in melia azedarach l. under wastewater irrigation. *Feb-Fresenius Environ. Bulletin*, 26(7), 4645-4652.
- Alikhasi, M., Kouchakzadeh, M., Baniani, E., 2012. The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. *Journal Of Agricultural Science and Technology*, 14(6), 1357-1364.
- Al-Khamisi, 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(1-2), 57-65.
- Al-Khamisi, S.A., Al-Wardy, M., Ahmed, M., Prathapar, S.A., 2016. Impact of reclaimed water irrigation on soil salinity, hydraulic conductivity, cation exchange capacity and macro-nutrients. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 21, 7-18.

- Al-Khamisi, S.A., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Prathapar, S.A., Choudri, B.S., 2017. Effect of reclaimed water irrigation on yield attributes and chemical composition of wheat (*Triticum aestivum*), cowpea (*Vigna sinensis*), and maize (*Zea mays*) in rotation. *Irrigation Science*, 35(2), 87-98.
- Al-Lahham, O., El Assi, N.M., Fayyad, M., 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management*, 61(1), 51-62.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irri. and Drainage Paper No. 56.
- Allison, L., Bollen, W.B., Moodie, C.D., 1965. Total carbon. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 1346-1366.
- Almuktar, S., Scholz, M., 2016. Mineral and biological contamination of soil and *Capsicum annuum* irrigated with recycled domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, 167, 95-109.
- Amiri, S.S., Maralian, H., Aghabarati, A., 2008. Heavy metal accumulation in under crown *Olea europaea* L forest irrigated with wastewater. *African Journal of Biotechnology*, 7(21), 3912-3916.
- Amiri, M.J., Ebrahimizadeh, A., Amiri, S., Radi, M., Niakousari, M., 2009. Comparative evaluation of physicochemical properties of corn flours through different water qualities and irrigation methods. *Journal of Applied Sciences*, 9(5), 938-943.
- Ammary, B.Y., 2007. Wastewater Reuse In Jordan: Present Status And Future Plans. *Desalination*, 211, 64–176.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Anonim, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin Uygulanmasına Dair Teknik Usuller Tebliği. http://www.cmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=230 (15.11.2016).
- Anonim, 1996. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf> (11.08.2015).
- Anonim, 2007. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (11.08.2015).
- Anonim, 2008. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/02/20080213-13.htm> (15.07.2018).
- Anonim, 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm> (20.03.2018).
- Anonim, 2011. Quality assurance for animal feed analysis laboratories. http://www.fao.org/ag/againfo/home/documents/Network_Quality-control.pdf (19.07.2016)
- Anonim, 2015a. AOAC, “Official methods of analysis”, method 979.09 <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=27450> (11.12.2015).
- Anonim, 2016.. <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (16.05.2018).
- Anonim, 2016a. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN> (19. 01.2018).

- Anonim, 2017. Results: PA Commerical grain and silage hybrid corn tests report, Penn State, <http://extension.psu.edu/plants/crops/grains/corn/hybridtests/2015-reports> (11.03.2015).
- APHA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf (05.07.2015).
- Arar, A., 2006. The future role of the use of sewage effluent for irrigation in the Near East, Land and Water Development Division. FAO, 59-72. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI000392> (15.02.2018).
- Argenta, G., Silva, P.R.F.D., Sangoi, L., 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameler to predict nitrogen fertilization in maize. *Ciencia Rural*, 34(5), 1379-1387.
- Arıtürk, M.E., 2008. İkinci ürün silajlık mısırın sulama zamanının planlanması ve su verim kalite ilişkilerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B., Mittal, N., 2008. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, 111(4), 811-815.
- Asgari, K., Najafi, P., Soleymani, A., Larabi, R., 2007. Effects of treated municipal wastewater on growth parameters of corn in different irrigation conditions. *Journal of Biological Sciences*, 7(8), 1430-1435.
- Asgari, K., Cornelis, W.M., 2015. Heavy metal accumulation in soils and grains, and health risks associated with use of treated municipal wastewater in subsurface drip irrigation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7), 410-413.
- Atçeken, T., 2010. Fertigasyon yöntemiyle farklı miktarlarda azot ve su uygulamalarının silajlık mısır verimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Aydin, M.E., Aydin, S., Beduk, F., Tor, A., Tekinay, A., Kolb, M., Bahadir, M., 2015. Effects of long-term irrigation with untreated municipal wastewater on soil properties and crop quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 19203-19212.
- Aydinsakir, K., Erdal, S., Buyuktas, D., Bastug, R., Toker, R., 2013. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. *Agricultural Water Manag.*, 128, 65-71.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1989. Salinity problems. In: FAO, editor *Water quality for Agriculture*, Italy.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1994. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper-29 Rev.1., Rome, Italy.
- Ayyıldız, M., 1983. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 879/244.
- 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.
- Balmuk, Y., 2012. Konya Yunak koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek silajlık mısır (*zea mays* l.) çeşitlerinin verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

- Banon, S., Miralles, J., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., 2011. Effects of diluted and undiluted treated wastewater on the growth, physiological aspects and visual quality of potted lantana and polygala plants. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 869-876.
- Baran, Ö., 2015. Farklı sulama seviyeleri ve azot dozlarının silajlık mısırdaki (*zea mays* l.) verim, verim öğeleri ile silaj kalitesine etkileri. Y. Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Barbagallo, S., Cirelli, G.L., Indelicato, S., 2001. Wastewater reuse in Italy. *Journal Water Science Technology*, 43(10), 43-50.
- Başer, İ., Gençtan, T., 1999. Heritability and effects of some characters on silage yields in dent corn varieties (*zea mays indentata sturt.*) grown under drought conditions. *Journal of Korean Grassland Science*, 19(2), 177-182.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75, 117-135.
- Bedbabis, S., Ferrara, G., Rouina, B. B., Boukhris, M., 2010. Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. *Scientia Horticulturae*, 126(3), 345-350.
- Bedbabis, S., Rouina, B.B., Boukhris, M., Ferrara, G., 2014. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 45-50.
- Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C.B., Clodoveo, M.L., Camposeo, S., Vivaldi, G.A., Rouina, B.B., 2015. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. *Agricultural Water Management*, 160, 14-21.
- Bhardwaj, A.K., Goldstein, D., Azenkot, A., Levy, G.J., 2007. Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: Effects on hydraulic conductivity of a clay soil. *Geoderma*, 140(1-2), 199-206.
- Biswas, S.K., Mojid, M.A., Wyseure, G.C.L., 2017. Physicochemical properties of soil under wheat cultivation by irrigation with municipal wastewater in Bangladesh. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(1), 1-10.
- 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*, 4(7), 828-839.
- Blake, G.R., Hartge K.H., 1986 a. Particle density. In 'Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods (2nd edn.)' (Ed. A Klute) Agronomy Monograph No. 9, (American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Medison.
- Blake, G.R., Hartge K.H., 1986 b. Bulk density. In 'Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods (2nd edn.)' (Ed. A Klute) Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Medison.
- Botti, P., Viridis, A., Solinas, G., Buscarinu, P., Ferralis, M., Marras, G., Spanu, P., Vacca, S., 2009. Reclamation and agricultural reuse of wastewater: the experience of the Cagliari sewage treatment plant (Sardinia, Italy). *Water Science Technology*, 59(1), 65-72.

- Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P., Mailhol, J.C., 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(4), 1-10.
- Bozkurt, Y., Yazar, A., Gençel, B., Sezen, M.S., 2006. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. *Agricultural Water Management*, 85(1-2), 113-120.
- Bozkurt, S., Bozkurt, G.S., 2011. The effects of drip line depths and irrigation levels on yield, quality and water use characteristics of lettuce under greenhouse condition. *African Journal of Biotechnology*, 10(17), 3370-3379.
- Bozkurt, S., Yazar, A., 2011. Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research*, 6(23), 5291-5300.
- Bremner, J.M., 1965. Inorganic Forms of Nitrogen in C.A. Black Methods Soil Analysis Part 2. *Agronomy 9:1200 Am.Soc. of Agronomy, Madison*.
- Canbolat, M.Y., Hanay, A., Anapalı, Ö., 1996. Aralık ilçesi rüzgâr erozyon alanı sorunlu topraklarına organik atık materyal uygulamasının etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27 (3), 448-460.
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1), 1-16.
- Cakmakci, O., Cakmakci, T., Durak, E.D., Demir, S., Sensoy, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi in melon (*cucumis melo* l.) seedling under deficit irrigation. *Feb-Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7513-7520.
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., Tol, R.S. 2011. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42, 305-323.
- Carr, R.M., Blumenthal, U.J. Mara, D.D., 2004. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture: Developing Realistic Guidelines. In: Scott, C. A., Faruqui, N. I. & Raschid-Sally, L. (eds.) *Wastewater Use in Irrigated Agriculture Confronting the Livelihood and Environmental Realities*, 31-38.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field Capacity and Available Water Capacity. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph No. 9, Soil Science Society of America, Madison, 901-926.
- Castro, E., Mañas, M.P., De Las Heras, J., 2011. Effects of wastewater irrigation on soil properties and turfgrass growth. *Water Science and Techn.*, 63(8), 1678-1688.
- Chunfang, W., Xiaohou, S., Huilian, X., Tingting, C., Weina, W., 2016. Effects of compound microbial inoculant treated wastewater irrigation on soil nutrients and enzyme activities. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(6), 100-108.
- Challam, B.S., Chaturvedi, S.S., 2013. Effect of treated dairy effluent on height and yield of *zea mays* L. *Rasayan Journal of Chemistry*, 6(2), 153-157.
- Cicek, A., Karaman, M.R., Turan, M., Gunes, A., Cigdem, A., 2013. Yield and nutrient status of wheat plant (*T. aestivum*) influenced by municipal wastewater irrigation. *Journal Food Agricultural Environment*, 11, 733-737.

- Cirelli, G.L., Consoli, S., Licciardello, F., Aiello, R., Giuffrida, F., Leonardi, C., 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. *Agricultural Water Management*, 104, 163-170.
- Cornish, G.A., Kielen, N.C., 2004. Wastewater irrigation- hazard or lifeline? Empirical results from Nairobi, Kenya and Kumasi, Ghana. In: Scott, C. A., Faruqui, N. I. & Raschid-Sally, L. (eds.) *Wastewater use in irrigated agriculture coordinating the livelihood and environmental realities*. UK: CAB International.
- Çağan, E., Kökten, K., Kaplan, M., Yılmaz, H.Ş., 2018. Bazı adi fiğ hat ve çeşitlerinin (*vicia sativa* L.) ot verimi ve ot kalitesi açısından değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(1), 47-61.
- Çakmakçı, T., Uçar, Y., Erbaş, S., 2016. Atık su uygulamalarının kanola'da (*brassica napus* L.) yağ oranı ve yağ asitleri kompozisyonuna etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 145-151.
- Çamoğlu G., 2010. Farklı su stresi düzeylerinde mısır bitkisinin bazı fizyolojik ve morfolojik özelliklerinin uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi. *Doktora Tezi, Ege Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*.
- Çamoğlu G., Genç, L., Aşık, Ş., 2011. Tatlı mısırdaki (*Zea mays saccharata* Sturt) su stresinin fizyolojik ve morfolojik parametreler üzerine etkisi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011, 48(2), 141-149.
- Çarkacı, D.A., Yokuş, S., Ölmez, O., Çelik, Y., Karadavut, U., 2016. Konya yöresinde yetiştirilen mısır bitkisinin üretim girdi ve maliyetlerinin belirlenmesi. *Uluslararası Katılımlı XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Isparta*.
- Çarpıcı, E.B., 2009. Bitki yoğunluğu ve farklı miktarda azot uygulamalarının stres fizyolojisi açısından silajlık mısır yetiştiriciliğinde değerlendirilmesi. *Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*.
- Çay, Ş., 2013. Konya kentsel atıksuların tarımsal sulamada kullanılması ve mısır bitkisi yetiştiriciliğine etkileri. *Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Çelik, A., 2014. Yer kirazında farklı su uygulamalarının meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerin belirlenmesi. *Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ*.
- Çolak, Y.B., Yazar, A., Sesveren, S., Colak, I., 2017. Evaluation of yield and leaf water potential (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia Horticulturae*, 219, 10-21.
- Çolak, Y.B., Yazar, A., Gönen, E., Eroğlu, E.Ç., 2018. Yield and quality response of surface and subsurface drip-irrigated eggplant and comparison of net returns. *Agricultural Water Management*, 206, 165-175.
- Dağdelen, N., Yılmaz, E., Sezgin, F., Gürbüz, T., 2006. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 82, 63-85.
- Dağdelen, N., Başal, H., Yılmaz, E., Gürbüz, T., Akcay, S., 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 96(1), 111-120.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L., 1986. Porosity. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and mineralogical Methods*, 2nd Ed. Soil Sci. Soc. of America, Madison, USA, 443-460.
- Dare, A.E., 2014. Irrigation with treated wastewater: Potential and limitations. *Doctoral Dissertation, Purdue University*.

- Demir, E., 2010. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın verim, besin elementi ve ağır metal içeriğine etkisi. Y. Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Demir Doğan, A., 2016. Farklı sulama stratejileri ile atık su uygulamalarının bingöl koşullarında domates bitkisinin verim ve kalitesi ile toprak özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Demir Doğan, A., Sahin, U., 2017. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 24856-24879.
- Demirel, K., Genç, L., Saçan, M., 2012. Effects of different irrigation levels on pepper (*Capsicum Annum* Cv. Kapija) yield and quality parameters in semi-arid conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 9(2), 7-15.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S., 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 139(3), 319-326.
- Dikinya, O., Areola, O., 2010. Comparative analysis of heavy metal concentration in secondary treated wastewater irrigated soils cultivated by different crops. *International J. of Environmental Science & Technology*, 7(2), 337-346.
- Dizikisa, T., 2014. Erzurum yöresinde (Merkez, Pasinler Ve Oltu) yaygın olarak yetiştirilen patates (*solanum tuberosum* l.) bitkisinin beslenme durumunun toprak ve bitki analizleri ile değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dogan, E., Kirnak, H., Berekatoglu, K., Bilgel, L., Surucu, A., 2008. Water stress imposed on muskmelon (*Cucumis melo* L.) with subsurface and surface drip irrigation systems under semi-arid climatic conditions. *Irrigation Science*, 26(2), 131-138.
- Dolferus, R., 2014. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Science*, 2229, 247-261.
- Doorenbos, J., Kassam, AH., 1979. Yield Response to Water. Fao Irrigation and Drainage Paper No: 33, Italy.
- DSİ, 2017. Toprak ve Su kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> (15.04.2018).
- Drechsel, P., Blumenthal, U.J., Keraita, B., 2002. Balancing health and livelihoods. Adjusting wastewater irrigation guidelines for resource-poor countries. *Urban Agriculture Magazine*, 8, 7-9.
- Drechsel, P., Scott, C.A., Raschid-Sally, L., Redwood, M., Bahri, A., 2010. Wastewater irrigation and health, assessing and mitigating risk in low-income countries, International Water Management Institute and International Development Research Centre, UK, 404p.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- Durmuş, E., 2015. Bazı mısır çeşitlerinin tarla koşullarında su kullanım etkinliklerinin belirlenmesi ve ilişkili fizyolojik parametrelerin incelenmesi. Y. Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69, 123-133.
- Eckner, K.F., 1998. Comparison of membran filtration and multiple-tube fermentation by the coliert and enterolent methods for detection of waterborne coliform bacteria

- and bathing water quality monitoring in Southern Sweden. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(8), 3079-3083.
- Ekinci, M., Ors, S., Sahin, U., Yildirim, E., Dursun, A., 2015. Responses to the irrigation water amount of spinach supplemented with organic amendment in greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(3), 327-342.
- Elfanssi, S., Ouazzani, N., Mandi, L., 2018. Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated by treated domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, 202, 231-240.
- 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. *Agricultural Water Management*, 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(9), 1736-1743.
- Enciso-Medina, J., Multer, W.L., Lamm, F.R., 2011. Management, maintenance, and water quality effects on the long-term performance of subsurface drip irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6), 969-978.
- EPA, 2004. Guidelines For Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Erdal, Ş., Pamukçu, M., Ekiz, H., Soysal, M., Savur, O., Toros, A., 2009. Bazı silajlık mısır çeşit adaylarının silajlık verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 75-81.
- Ergene, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:635, Erzurum.
- Ertek, A., Kara, B., 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 129, 138-144.
- FAO, 1985. The State of Food And Agriculture. (<http://www.fao.org/3/a-ap665e.pdf>) (15.11.2017).
- FAO, 2017. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm> (14.05.2018).
- Farahat, E.A., Galal, T.M., Elawa, O.E., Hassan, L.M., 2017. Health risk assessment and growth characteristics of wheat and maize crops irrigated with contaminated wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11), 535.
- Farquhar, G.D. Wong, S.C. Evans, J.R., Hubick, K.T., 1989. Photosynthesis and gas exchange. In: H.G. Jones, T.J. Flowers and M.B. Jones, editors. *Plants Under Stress*. Cambridge University Press, Cambridge, 47-69.
- Farré, I., Faci, J.M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agri. Water Management*, 96(3), 383-394.
- Fesliyen, K., 2017. Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Y. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Fine, P., Hadas, E., 2012. Options to reduce greenhouse gas emissions during wastewater treatment for agricultural use. *Science of the Total Environment*, 416, 289-299.
- Flores-Magdaleno, H., Mancilla-Villa, O R., Mejía-Saenz, E., Olmedo-Bolantilde, M.D., Bautista-Olivas, A.L., 2011. Heavy metals in agricultural soils and irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6(24), 5505-5511.

- Fonseca, A.F., Melfi, A.J., Monteiro, F. A, Montes, C. R., Almeida, V.V., Herpin, U., 2007. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for tifton 85 bermudagrass. *Agricultural Water Management*, 87 (3), 328-336.
- Fredj, F.B., Wali, A., Khadhraoui, M., Han, J., Funamizu, N., Ksibi, M., Isoda, H., 2014. Risk assessment of heavy metal toxicity of soil irrigated with treated wastewater using heat shock proteins stress responses: case of El Hajeb, Sfax, Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), 4716-4726.
- Galavi, M., Jalali, A., Ramroodi, M., Mousavi, S. R., Galavi, H., 2010. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 235-241.
- Ghamarnia, H., Sepehri, S., 2010. Different irrigation regimes affect water use, yield and other yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) crop in a semi-arid region of Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2), 590-593.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis*, Part A. Klute (ed.). 2 Ed., Vol. 9 nd., Am. Soc. Agron., Madison, WI, 383-411.
- Gençoğlu, C., Altunbey, H., Gençoğlu, S., 2006. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management*, 84(3), 274-280.
- Gezer, E., 2012. İkinci ürün silajlık mısır üretiminde İski atıksu arıtma çamuru kullanımının toprak özellikleri, bitki gelişimi ve su kullanımına etkisi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gourbesville, P., 2008. Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33, 284-289.
- Guardiola-Claramonte, M., Sato, T., Choukr-Allah, R. Qadir, M., 2012. Wastewater production, treatment and reuse around the Mediterranean region: current status and main drivers. *Integrated Water Resources Management in the Mediterranean Region*, 139-174.
- Gulsen, N., Coskun, B., Umucalı, H.D., Dural, H., 2004. Prediction of nutritive value of a native forage, *Prangos uechritzii*, using of in situ and in vitro measurements. *Journal Arid Environment*, 56, 167-179.
- Gupta, S., Satpati, S., Nayek, S., Garai, D., 2010. Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environ. Monit. Assess.*, 165, 169-177.
- Gupta, N., Khan, D.K., Santra, S.C., 2012. Heavy metal accumulation in vegetables grown in a long-term wastewater-irrigated agricultural land of tropical India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(11), 6673-6682.
- Günen, M., 2016. Tokat Zile ekolojik koşullarında ana ürün olarak yetiştirilebilecek silajlık mısır (*zea mays* L.) çeşitlerinin verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Güneş, A., 2007. Allüviyal materyaller üzerinde oluşan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) verim ve besin içeriği üzerine organik ve mineral gübre uygulamalarının etkisi. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Güney, E., Tan, M., Dumlu Gül, Z., Gül, İ., 2010. Erzurum şartlarında bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve silaj kalitelerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 105-111.

- Güngör, Y, Yıldırım, O., 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları 1155, 371 s, Ankara.
- Güngör, Y., Erözel, A.Z., Yıldırım, O., 2012. Sulama kitabı. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Yayın No:1592. Ankara.
- Gürbüz, T., Dağdelen, N., Yılmaz, E., Akçay, S., 2010. Farklı damla sulama rejimlerinin mısırdan verim, verim komponentleri ve su kullanım randımanı üzerine etkileri. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2), 25- 32.
- HACH, 2005. DR 5000 Spectrometer Procedures Manuel, <http://tr.hach.com/quicksearchdownloadsearch.jsa?keywords=kullan%C4%B1> (25.06.2016).
- HACH, 2010. Hach Bodtrak II, <http://tr.hach.com/bod-trak-ii-aksesuarlar-ile-birlikte-respirometrikboi-aparat/productdownloads> (Erişim tarihi: 25.06.2016).
- Haffani, S., Mezni, M., Slama, I., Ksontini, M., Chaïbi, W., 2014. Plant growth, water relations and proline content of three vetch species under water-limited conditions. Grass and Forage Science, 69(2), 323-333.
- Hamilton, A.J., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S.L., Benke, K.K., Maher, P., 2007. Wastewater irrigation: The state of play., Vadose Zone Journal, 6, 823-840.
- Hamzei, J., Soltani, J., 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. Agriculture, Ecosystems & Environment, 155, 153-160.
- Han, E., 2016. Bazı mısır çeşitlerinin dane verimleri ile silaj ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Haruvy, N., 1998. Wastewater reuse- regional and economic considerations. Journal Resources Conservation and Recycling, 23, 57-66.
- Hassanlı, A.M., Ebrahimzadeh, M.A., Beecham, S., 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. Agricultural Water Management, 96(1), 93-99.
- Hatcher, J.T., Wilcox, L.V., 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. Analytical Chemistry, 22(4), 567-569.
- Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, J.A., Malekian, R., 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management, 90(1-2), 87-94.
- Howell, T.A., Yazar, A., Schneider, A.D., Dusek, D.A., Copeland, K.S., 1995. Yield and water use efficiency of corn in response to LEPA irrigation. Transactions of the ASAE, 38(6), 1737-1747.
- Howell, T.A., 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. Agronomy Journal, 93, 281-289.
- Humphreys, L., Fawcett, B., O'Neill, C., Muirhead, W., 2005. Maize Under Sprinkler, Drip and Furrow Irrigation. IREC Farmers' Newsletter, No: 170.
- Hussain, I., Raschid, L., Hanjra, M.A., Marikar, F., Van Der Hoek, W., 2002. Wastewater Use in Agriculture: Review of Impacts and Methodological Issues in Valuing Impacts: with an Extended List of Bibliographical References, Iwmi.
- Ines, B.S., Imed, M., Frikha, D., Mohamed, C., Adele, M., 2017. Reclaimed municipal wastewater for forage production. Water Science and Techn., 75(8), 1784-1793.
- İbragimov, N., Eveet, S., Esanbekov, Y., Kamilov, B.S., Mirzaev, L., Lamers, J.P., 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. Agricultural Water Management, 90, 112-120.

- Jahantigh, M., 2008. Impact of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties in an arid region. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(18), 2264-2268.
- Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., Van Der Zee, S., 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management*, 95(2), 143-153.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S., 2009. Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation, membrane permeability, reactive oxygen species generation, and antioxidative response systems in *Zea mays* leaves. *Turkish Journal of Biology*, 33(1), 45-52.
- Jimenez, B., Asano, T., 2008. Water Reclamation and Reuse around the World. In: Jimenez, B. and Asano, T., Eds., *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, IWA Publishing, London, 648.
- Jiménez, B., Drechsel, P., Koné, D., Bahri, A., Raschid-Sally, L., Qadir, M., 2010. Wastewater, sludge and excreta use in developing countries: an overview. In: Drechsel, P., Scott, C. A., Raschidsally, L., Redwood, M. & Bahri, A. (eds.) *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. London, UK: Earthscan.
- Kabakçı, S., 2014. Iğdır ekolojik şartlarına uygun silajlık mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Kacar, B., 2009. Toprak Analizleri, Genişletilmiş 2. Baskı. Nobel Yayın No: 1387, Ankara.
- Kacar, B., 2014. Bitki, Toprak ve Gübre Analizleri 2. Kolay Uygulanabilir Bitki Analizleri. Nobel Yayın No: 910. Ankara.
- Kaçar, B., İnal, A., 2010. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, No:1241.
- Kafadar, F.N., Saygıdeğer, S., 2010. Gaziantep ilinde organize sanayi bölgesi atık suları ile sulanan bazı tarım bitkilerinde kurşun (Pb) miktarlarının belirlenmesi. *Ekoloji*, 19(75), 41-48.
- Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S., Rejeb, M.N., Hanchi, B., Misle, E., 2011. Effects of saline water on tomato under subsurface drip irrigation: nutritional and foliar aspects. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(1), 69-86.
- Kalavrouziotis, I.K., Koukoulakis, P.H., Robolas, P., Papadopoulos, A.H., Pantazis, V., 2008. Interrelationships of heavy metals macro and micronutrients, and properties of a soil cultivated with *Brassica oleracea* var. *italica* (Broccoli), under the effect of treated municipal wastewater. *Water Air Soil Poll.*, 190, 309-321.
- Kalfountzos, D., Alexiou, I., Kotsopoulos, S., Zvakos, G., Vyrlas, P. 2007. Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantations. *Water Resources Management*, 21(8), 1341-1351.
- Kaman, H., 2007. Çukurova koşullarında geleneksel kısıntılı ve yarı ıslatmalı sulama uygulamalarına bazı mısır çeşitlerinin verim tepkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kanber, R., Kırdar, C., Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Ç.Ü. Zir. Fak. Yayınları. Genel Yayın No.21 Ders Kitabı. Yayın No:6, Adana.
- Kanber, R., Ünlü, M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap No: A-87, Adana.
- Kang, S., Shi, W., Zhang, J., 2000. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*, 67(3), 207-214.

- Kaplan, M., Kara, R., 2014. Silaj Sorgum'da bazı fizyolojik özelliklerin verim üzerine etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 31(3), 20-31.
- Karasu, A., Kuşcu, H., Mehmet, Ö.Z., Bayram, G., 2015. The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage maize (*Zea mays indentata sturt.*). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 43(1), 138-145.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., Tas, I., 2003. Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus Thunb.*) grown under well-watered and water-stressed conditions. Plant and Soil, 253(2), 287-292.
- Kaya, S., 2011. Farklı sulama programları altında kayısı yaprak su içeriği ve yaprak alanının değerlendirilmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 59-67.
- Kemper, D.W., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, In: A. Klute, Ed., Methods of Soil Analysis, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, 425-442.
- Keraita, B., Drechsel, P., 2004. Agricultural use of untreated urban wastewater in Ghana. Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities, editör by Scott, C.A., Faraquri, N.I., Raschid-Sally, L., 101-112.
- Keskin, S., 2001. Silajlık olarak yetiştirilen mısır çeşitlerinde bitki sıklığının verim ve bazı komponentlere etkisi. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kesmez, G.D., 2009. Karık ve damla sulama yöntemlerinin aşılı domateste meyve verimi kalitesi ile toprak tuzluluğuna etkileriç Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Khan, M.A., Shaukat, S.S., Khan, M.A., 2009. Growth, yield and nutrient content of sunflower (*Helianthus annuus L.*) using treated wastewater from waste stabilization ponds. Pakistan Journal of Botany, 41(3), 1391-1399.
- Khurana, M.P.S., Singh, P., 2012. Waste water use in crop production: a review. Resources and Environment, 2(4), 116-131.
- Kıral, T., Kasnakoğlu, H., Tatlıdil, F.F., Fidan, H., Gündoğmuş, E., 1999. Tarımsal Ürünler İçin Maliyet Hesaplama Metodolojisi ve Veri Tabanı Rehberi. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Yayın No:37, Ankara.
- Kırnak, H., Demirtaş, M.N., 2002 a. Su stresi altındaki kiraz fidanlarında fizyolojik ve morfolojik değişimlerin belirlenmesi. Atatürk Üniv Ziraat Fak. Dergisi, 33 (3), 265-270.
- Kırnak, H., Kaya, C., Değirmenci, V., 2002b. Toprak üstü ve toprak altı damla sulama sistemlerinde farklı sulama düzeylerinin biber bitkisinin gelişim ve verim özellikleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(4), 383-389.
- Kim, H.K., Jang, T.I., Kim, S. M., Park, S.W., 2015. Impact of domestic wastewater irrigation on heavy metal contamination in soil and vegetables. Environmental Earth Sciences, 73(5), 2377-2383.
- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O., Okuroglu, M., 2007. Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*brassica oleracea var. capitata* cv. yalova-1) chemical properties. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170(1), 166-172.

- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A., 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management*, 95(6), 716-724.
- Kiziloglu, F.M., Şahin, U., Kuşlu, Y., Tunc, T., 2009. Determining water-yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. *Irrigation Science*, 27, 129-137.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, ASA and SSSA, Madison, 635-662.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V., 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 121-124.
- Kodal, S., 1993. Su bütçesi yaklaşımının ülkemizde sulama zaman planlamasında uygulanması. *Topraksu Dergisi*, 2(1), 1-5.
- Kong, Q., Li, G., Wang, Y., Huo, H., 2012. Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels, *Irrigation Science*, 30(3), 233-245.
- Kontas, A., Kucuksezgin, F., Altay, O., Uluturhan, E., 2004. Monitoring of eutrophication and nutrient limitation in the Izmir Bay (Turkey) before and after wastewater treatment. *Plant. Environ. Int.*, 29, 1057-1062.
- Korukçu, A., Kanber, R., 1981. Su-verim ilişkileri. *Topraksu araştırma ana projesi*, Tarsus, 49.
- Köksal, A.İ., Yıldırım, O., Dumanoglu, H., Kadayıfçı, A., Güneş, N., 2000. Farklı sulama yöntemlerinde elma ağaçlarının su tüketimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(2), 22-29.
- Kudal, M., Müftüoğlu, N.M., 2014. Kentsel atıksu ile sulanan topraklarda bazı verimlilik özelliklerinin incelenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 77-81.
- Kumar, V., Chopra, A.K., Srivastava, S., Singh, J., Thakur, R.K., 2017. Irrigating okra with secondary treated municipal wastewater: Observations regarding plant growth and soil characteristics. *International Journal of Phytoremediation*, 19(5), 490-499.
- 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.
- Kuscu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydinol, P., Demir, A.O., 2014. Optimizing levels of water and nitrogen applied through drip irrigation for yield, quality, and water productivity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(2), 103-114.
- Kuşvuran, Ş., 2010. Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kuşvuran, A., Kaplan, M., Nazlı, R.İ., Saruhan, V., Karadağ, Y., 2015. Orta Kızılırmak havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin silajlık olarak yetiştirilme olanaklarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 57-67.

- Küçük, B., 2009. Bazı silajlık mısır çeşitlerinde morfolojik özelliklerin ve yem verimlerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ladwani, K.D., Ladwani, K.D., Manik, V.S., Ramteke, D.S., 2012. Impact of domestic wastewater irrigation on soil properties and crop yield. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(10), 1-7.
- Lazarova, V., Bahri, A. 2004. Water reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass, CRC Press.
- Leal, R.M.P., Herpin, U., Fonseca, A.F., Firme, L.P., Montes, C.R., Melfi. A.J., 2009. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, 96, 307–316.
- Levy, G.J., Rosenthal, A., Tarchitzky, J., Shainberg, I., Chen, Y., 1998. Soil Hydraulic Conductivity Changes Caused By Irrigation With Reclaimed Waste Water *Journal Environmental Quality*, 28(5), 1658-1664.
- Machado, R.M., Maria do Rosário, G.O., 2005. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths *Irrigation Science*, 24(1), 15-24.
- Manas, P., Castro, E., de las Heras, J., 2009. Irrigation with treated wastewater: effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop and dynamics of microorganisms. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 44(12), 1261-1273.
- Mancosu, N., Snyder, R.L., Kyriakakis, G., Spano, D., 2015. Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7, 975-992.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Gille, K.E., 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agric. Ecosyst. Environment*, 107, 151-165.
- Maral, N., 2010. Tarımsal üretim için toprak ve su analiz teknikleri. Y. Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., 2002. *Animal Nutrition*. 6th Edition. Longman, New York. 543 p.
- Mekki, A., Dhoub, A., Sayadi, S., 2006. Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. *Microbiological Research*, 161(2), 93-101.
- Mengi, G.P., Özgürel, M., 2008. An evaluation of water-yield relations in maize (*zea mays* l.) in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(4), 517-524.
- Metcalf and Eddy, 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*, Fourth Edition, McGrawHill, New York.
- Misheloff, R., 2010. Integrated water resource management II, feasibility of waste water reuse, US AID, Report No.14.
- Mohammad, M.J., Mazahreh, N., 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(9-10), 1281-1294.
- Mojid, M.A., Wyseure, G.C.L., 2013. Implications of municipal wastewater irrigation on soil health from a study in Bangladesh. *Soil use and Management*, 29(3), 384-396.
- Mojid, M.A., Wyseure, G.C.L., Biswas, S.K., 2016. Effects of municipal wastewater irrigation on yield and fertilizer requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Bangladesh. *The Agriculturists*, 14(1), 01-14.

- Mojiri, A., Hamidi, A.A., 2011. Effects of municipal wastewater on accumulation of heavy metals in soil and wheat (*Triticum aestivum* L.) with two irrigation methods. *Romanian Agricultural Research*, 28, 217-222.
- Mousavi, S.R., Balali-Mood, M., Riahi-Zanjani, B., Yousefzadeh, H., Sadeghi, M., 2013. Concentrations of mercury, lead, chromium, cadmium, arsenic and aluminum in irrigation water wells and wastewaters used for agriculture in Mashhad, northeastern Iran. *International Journal of Occupational And Environmental Medicine*, 4(2), 80-86.
- Mousavi, S.R., Shahsavari, M., 2014. Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (*Zea mays*). In *Biological Forum- An International Journal*, 6(2), 228-233.
- Muyen, Z., Moore, G.A., Wrigley, R.J., 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, 99, 33-41.
- Müjdeci, M., Sarıyev, A., Polat, V., 2005. Buğdayın (*Triticum aestivum* L.) gelişme dönemleri ve yaprak alan indeksinin matematiksel modellenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(3), 278-282.
- Mut, Z., Köse, Ö.D., Akay, H., 2017. Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin tane verimi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 85-95.
- Naghashzadeh, M., Bour, K., Pezeshkpour, P., 2015. Response of water use efficiency to mycorrhizal biofertilizer in maize under water stress conditions. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4(3), 152-157.
- Najafi, P., Nasr, S., 2009. Comparison effects of wastewater on soil chemical properties in three irrigation methods. *Research on Crops*, 10(2), 277-280.
- Nazzal, Y.K., 2005. Systematic framework for evaluating treated wastewater usage in agricultural irrigation. Dissertation, Utah State University.
- Ndunda, E.N., 2014. Wastewater reuse in urban and peri-urban irrigation: an economic assessment of improved wastewater treatment, low-risk adaptations and risk awareness in Nairobi, Kenya. PhD Thesis. University of Pretoria.
- NRC, 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6th Revised Edition National Academy Press, Washington, DC.
- Oba, M., Allen, M.S., 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal Dairy Science*, 82, 589-596.
- Okursoy, H., 2009. Trakya koşullarında farklı sulama yöntemleri altında ikinci ürün silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- 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.
- Orak, A., İptaş, S., 1999. Silo yem bitkileri ve silaj. Çayır-mera amenajmanı ve ıslahı. Mera Kanunu Eğitim ve Uygulama El Kitabı 1. TC Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Oron, G., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M., 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agricultural Water Management*, 38 (3), 223-234.

- Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., 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*, 62(12), 1700-1710.
- Orta, H., Yüksel, A.N., Erdem, T., 2000. Tekirdağ koşullarında farklı sulama yöntemlerinin elma ağaçlarının su tüketimine etkisi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3), 109-115.
- Orta, H., 2009. Trakya koşullarında farklı sulama yöntemleri altında ikinci ürün silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. *Tübitak Proje No: 108O305*.
- Özata, E., Öz, A., Kapar, H., 2012. Silajlık hibrit mısır çeşit adaylarının verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1): 37-40.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. *Toprak Bilimi*. ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın, (73), 585-592.
- Özdüzen, N.S., 2004. Patates tarımında yağmurlama ve damla sulama sistemlerinin ekonomik yönden karşılaştırılması. *Y. Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgürel, M., Pamuk, G., 2003. Mısır bitkisinin su-verim ilişkileri ve ceres maize bitki büyüme modelinin bölge koşullarına uygunluğunun irdelenmesi üzerine bir araştırma. *Proje no: TARP-2340*, İzmir.
- Öztürk, N.Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(5), 307-315.
- Pablo, R.G., O'Neill, M.K., McCaslin, B.D., Remmenga, M.D., Keenan, J.G., Onken, B.M., 2007. Evaluation of corn grain yield and water use efficiency using subsurface drip irrigation. *Journal of Sustainable Agriculture*, 30(1), 153-172.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc Publisher Madison, Wisconsin USA.
- Pamuk, G., 2003. II.Ürün Mısır Bitkisinin Su -Verim ilişkileri ve Ceres-Maize Bitki Büyüme Modelinin Bölge Koşullarına Uygunluğunun İrdelenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Doktora Tezi*, Ege Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Pereira, B.F.F., He, Z., Stoffella, P.J., Montes, C.R., Melfi, A.J., Baligar. V.C., 2012. Nutrients and nonessential elements in soil after 11 years of wastewater irrigation. *Jornal Environmental Quality*, 41, 920–927.
- Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture *FAO irrigation and drainage paper* 47.
- Pıtır, M., 2015. Biber yetiştiriciliğinde farklı su kısıtlarının meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerin belirlenmesi. *Y. Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Pirmoradian, N., Sepaskhah, A., Maftoun, M., 2004. Deficit irrigation and nitrogen effects on nitrogen-use efficiency and grain protein of rice. *Agronomie*, 24(3), 143-153.
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Minhas, P.S., Drechsel, P., Bahri, A., Mccornick, P. G., Abaidoo, R., Attia, F., Elgundy, S., 2007. Agricultural use of marginal-quality water: opportunities and challenges. In: MODEN, D. (ed.) *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in*

- Agriculture. Earthscan, London and International Water Management Institute, Colombo.
- Qadir, M., Scott, C.A., 2010. Non-Pathogenic Trade-Offs of Wastewater Irrigation. In: Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. & Bahri, A. (Eds.) *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low Income Countries*. London: Earthscan.
- Qureshi, A.S., Hussain, M.I., Ismail, S., Khan, Q.M., 2016. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. *Chemosphere*, 163, 54-61.
- Rafferty, K., 1999. *Scaling in Geothermal Heat Pump Systems*. U.S. Department of Energy, Oregon, USA.
- Raschid-Sally, L., Jayakody, P., 2009. Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment, IWMI.
- Richards LA., 1954. Diagnosis and improvements salina and alkali soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60, Stroudsburg, U.S.A.
- Roy, S., Gupta, S., 2016. Effect of wastewater irrigation on soil and some selected vegetables grown in Asansol, West Bengal. *International Journal of Environmental Sciences*, 6(5), 894-904.
- Rusan, M.J.M., Hinnawi, S., Rousan, L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215(1-3), 143-152.
- Sacks, M., Bernstein, N., 2011. Utilization of reclaimed wastewater for irrigation of field-grown melons by surface and subsurface drip irrigation. *Israel Journal of Plant Sciences*, 59(2-4), 159-169.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M., 2015. Response of cucumbers to different irrigation regimes applied through drip-irrigation system. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(1), 198-205.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., Zahoor, A., 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.
- Sağlam, A., 2004. Ağır kuraklık stresi geçirmiş *ctenanthe setosa* bitkisinin yeni kuraklık koşullarına adaptasyon yeteneğinin araştırılması. Y. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Schacht, K., Chen, Y., Tarchitzky, J., Marschner, B., 2016. The use of treated wastewater for irrigation as a Component of Integrated water resources management: reducing environmental implications on soil and groundwater by evaluating site-specific soil sensitivities. In: Borchardt, D., Bogardi, J.J. & Ibisch, B. R. (eds.) *Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation*. Cham: Springer International Publishing, 459-470.
- Scheierling, S.M., Bartone, C., Mara, D.D., Drechsel, P., 2010. Improving wastewater use in agriculture an emerging priority. In: *The World Bank Water Anchor Energy, Technology and Water Department* (ed.).
- Scott, C.A., Faruqui, N.I., Raschid-Sally, L. 2004. 1. Wastewater use in irrigated agriculture: management challenges in developing countries. In: C. A Scott, Faruqui, N. I., Naser, I., Raschid-Sally, L. (eds.) *Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities*. UK: CABI.

- Selim, M.M., 2006. Agronomic and economic benefits of reuse of secondary treated wastewater in irrigation under arid and semi-arid region. The 2nd International Conference on Water Resources Arid Environment, Saudi Arabia.
- Selim, M.M., 2008. Evaluation of the re-use of treated wastewater for irrigation. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(4), 477-484.
- Sezen, Y., 1995. Toprak Kimyası. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 790, Erzurum.
- Shilpi, S., Seshadri, B., Sarkar, B., Bolan, N., Lamb, D., Naidu, R., 2018. Comparative values of various wastewater streams as a soil nutrient source. *Chemosphere*, 192, 272-281.
- Silva, L.V., de Lima, V.L., Pearson, H.W., Silva, T.T., Maciel, C.L., Sofiatti, V., 2016. Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(4), 308-315.
- Simsek, M., Can, A., Denek, N., Tonkaz, T., 2011. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(31), 5869-5877.
- Simsek, D., Tamkoc, A., 2014. Evaluation of Silage Corn Hybrids as Second Cropping. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(2), 69-75.
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F., 2009. Effects of wastewater irrigation on physicochemical properties of soil and availability of heavy metals in soil and vegetables. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(21-22), 3469-3490.
- Singh, P.K., Deshbhratar, P.B., Ramteke, D.S., 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, 103, 100-104.
- Smart, R.E., Barss, H.D., 1973. The effect of environment and irrigation interval on leaf water potential of four horticultural species. *Agricultural Meteorology*, 12, 337-346.
- Sou, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H., Boivin, P., 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200, 31-39.
- Stewart, D.W., Dwyer, L.M., 1999. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. *Crop Science*, 39, 422-427.
- Suzuki, Y., Ogoshi, M., Yamagata, H., Ozaki, M., Asano, T., 2011. Large area and on-site water reuse in Japan. <http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf> (11.09. 2017).
- Şen, H., 2017. Küçük Menderes Havzasında bazı silajlık mısır (*zea mays* l.) çeşitlerinin adaptasyon, verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Tal, N.I., Avraham, O., Sack, J., Cikurel, H., 2003. Water reuse in Israel- the Dan Region project: evaluation of water quality and reliability of plant's operation. *Water Science Technology Water Supply*, 3(4), 231-237.
- Talmaç, B., 2006. Harran ovasında farklı sulama yöntemlerinin ekonomik analizi. Y. Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Taşkın, M.B., Balcı, M., Soba, M.R., Kaya, E.C., Pınar, Ö., Tanyel, G., Kabaoğlu, A., Turan, M.A., Taban, S., 2015. Doğu Karadeniz Bölgesinde çay tarımı yapılan toprakların ve çay bitkisinin azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt durumları. *Toprak Su Dergisi*, 4(2), 30-40.

- Topak, R., Süheri, S., Bilal, A., 2009. Kısıntılı damla sulamanın mısır verimine ve su kullanımına etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(49), 74-80.
- 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.
- Tsadilas, C.D., Vakalis, P.S., 2003. Economic benefit from irrigation of cotton and corn with treated wastewater. *Water Science Technology Water Supply*, 3(4), 223-229.
- TUİK, 2017. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (11.08.2018).
- Tunc, T., Sahin, U., 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management*, 158, 213-224.
- Tunc, T., Sahin, U., 2016. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6264-6276.
- Tunc, T., Sahin, U., 2017. Yield and heavy metal content of wastewater-irrigated cauliflower and soil chemical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(10), 1194-1211.
- Tunç, T., 2013. Farklı işlemlerle arıtılmış atıksuların sulamada kullanımının toprak ve bitki özellikleri ile su kullanımına etkisi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Turan, M.A., Katkat A.V., Özsoy G., Taban, S., 2010. Bursa ili alüviyal tarım topraklarının verimlilik durumları ve potansiyel beslenme sorunlarının belirlenmesi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 115-130.
- Tüzüner, A., 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı, T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ucak, A.B., Gencoglan, C., Degirmenci, H., 2013. The effect of direct and traditional seeding methods and different water levels on the water–yield relationship of drip irrigated corn. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(3-4), 828-833.
- Ucak, A.B., Bagdatli, M.C., 2015. The negative effects of high temperature and low moisture on aftercrop silage maize. In *International Conference on Civil and Environmental Engineering*, Nevşehir.
- Ucak, A.B., Ayasan, T., Turan, N., 2016. Yield, quality and water use efficiencies of silage maize as effected by deficit irrigation treatments. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(12), 1228-1239.
- Ucar, Y., Kazaz, S., Askin, M.A., Aydinsakir, K., Kadayifci, A., Senyigit, U., 2011. Determination of irrigation water amount and interval for carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) with pan evaporation method. *Hortscience*, 46(1), 102-107.
- UN, 2014. The United Nations World Water Development Report. <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-pdf> (12.02.2018).
- UN, 2017. The United Nations World Water Development Report. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population.html> (12.02.2018).
- Urbano, V.R., Mendonca, T.G., Bastos, R.G., Souza, C.F., 2017. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115.
- USSL, 1954. United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Şaline and Alkali Soils, Agriculture handbook No:60. USDA.

- Üzen, N., 2014. Fiziksel olarak arıtılmış evsel atık suların pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) verim ve kalitesi ile toprak kirliliğine etkisi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Van Der Hoek, W., 2004. A framework for a global assessment of the extent of wastewater irrigation: The need for a common wastewater typology. In: Scott, C. A., Faruqi, N. I. & Raschid-Sally, L. (eds.) Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Van Soest, P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists, 46, 829-835.
- Van Soest, P.J., Wine, R.H., 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of Permanganate, AOAC, 50, 50-55.
- Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., Mobli, M., 2005. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. Journal of Water and Wastewater, 53, 15-22.
- Vazquezmontiel, O., Horan, N.J., Mara, D.D., 1996. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation, Water Sci. Technology, 33(10-11), 355-362.
- Vigneswaran, S., Sundaravadivel, M., 2004. Recycle and reuse of domestic wastewater, wastewater recycle and reclamation, encyclopedia of life support systems, UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK.
- Vogeler, I., 2009. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. Water, Air, and Soil Pollution, 196(1-4), 385-392.
- Vories, E.D., Tacker, P.L., Lancaster, S.W., Glover, R.E., 2009. Subsurface drip irrigation of corn in the United States Mid-South. Agricultural Water Management, 96(6), 912-916.
- Vural, Ç. 2007. Aydın koşullarında cin mısır bitkisinin damla sulama yöntemiyle sulanması. Y. Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Vural, Ç., Dağdelen, N., 2008. Damla sulama yöntemiyle sulanan cin mısırdaki farklı sulama programlarının verim ve bazı agronomik özellikler üzerine etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2), 97-104.
- Walkey, A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. Soil Science, 63, 251-263.
- Wang, J., Huang, C.P., Allen, H.E., Takiyama, L.R., Poesponegoro, I., Poesponegoro, H., Pirestani, D., 1998. Acid characteristics of dissolved organic matter in wastewater. Water Environment Research, 70(5), 1041-1048.
- Wang, R., Cheng, T., Hu, L., 2015. Effect of wide-narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. Field Crops Research, 172, 42-52.
- Warrington, D.N., Goldstein, D., Levy, G.J., 2007. Clay translocation within the soil profile as affected by intensive irrigation with treated wastewater. Soil Science, 172, 692-700.
- WHO, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group, Technical Report Series No: 778, Geneva.

- WHO, 2006. Guidelines for the Safe Use of Wasterwater Excreta and Greywater, volume2: wastewater use in agriculture, World Health Organisation, Geneva.
- Wichelns, D., Drechsel, P., Qadir, M., 2015. Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. In Wastewater (3-14), Dordrecht.
- Winpenny, J.T., Heinz, I., Koo-Oshima, S., 2010. The Wealth Of Waste: The Economics of Wastewater use in Agriculture, Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- WWDR, 2017. The United Nations World Water Development Report 2017, Wastewater The Untapped Resource, <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2017/> (20.01.2018).
- Xu, J., Wu, L., Chang, A.C., Zhang, Y., 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. Journal of Hazardous Materials, 183(1-3), 780-786.
- Yakıt, S., Tuna, A.L., 2006. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. Mediterranean Agricultural Sciences, 19(1), 59-67.
- Yarış, A., 2018. Farklı sulama oranlarının taze fasülyede meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerinin belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yıldırım, O., 1996. Sulama Sistemleri II. Ders Kitabı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1449, Ankara.
- Yosef, E., Carmi, A., Nikbachat, M., Zenou, A., Umiel, N., Miron, J., 2009. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. Animal Feed Science and Technology, 152(1-2), 1-11.
- Zavadil, J., 2009. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetables and crops. Soil Water Res, 4(3), 91-103.
- Zema, D.A., Bombino, G., Andiloro, S., Zimbone, S.M., 2012. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. Agricultural Water Management, 115, 55-65.
- Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S., 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield and water use efficiency in the north china plain. Agricultural Water Management, 64, 107-122.
- 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), 1-8.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Denizli Kale’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Muğla’da tamamladı. 2003 yılında girmiş olduğu Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Mühendisliği Bölümü’nden hazırlık sınıfı dahil olmak üzere 2008 yılında mezun oldu. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında başlamış olduğu yüksek lisans öğrenimini 2011 yılında tamamladı. 2012 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Halen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünde çalışmakta olup evlidir.