

**Arıtılmış Atık Suyun Farklı Sulama Yöntemleriyle Uygulanmasının Silajlık Mısırdaki Makro-Mikro Element ve Ağır Metal Birikimine Etkisi**

The Effect of Using Treated Wastewater with Different Irrigation Methods on Silage Maize Macro-Micro Element and Heavy Metal Accumulation

Talip ÇAKMAKCI<sup>1</sup>, Üstün ŞAHİN<sup>2</sup>

**Öz**


Bu çalışma, 2015 ve 2016 yıllarında yarı kurak iklime sahip Van (Türkiye) koşullarında yürütülmüştür. Çalışmada, farklı sulama yöntemleri [yüzey altı damla (YA), yüzey üstü damla (YÜ), geleneksel karık (GS)] ve sulama seviyeleriyle [tam sulama (% 100; K0), % 33 kısıt (K1) ve % 67 (K2) kısıt] arıtılmış atık su (AS) uygulamalarının temiz suyla (TS) kıyaslanarak silajlık mısırdaki makro mikro besin element ve ağır metal içerik değişimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Arıtılmış atık su uygulamalarında temiz suya kıyasla bitkinin N, P, K, Ca, Mg, B ve Fe içeriklerinde sırasıyla yaklaşık %28, %28, %26, %12, %47, %23 ve %24 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. Ağır metal içeriklerinde (Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr ve Ni) ise %75 - %770 arasında değişimler gözlemlenmiştir. Her üç sulama yönteminde de bitkideki mikro-iz element birikim sıralaması Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd şeklinde gerçekleşmiştir. Sulama suyu kısıtıyla beraber bitkilerdeki makro, mikro element içerikleri azalmıştır. Çalışma sonunda, arıtılmış atık suyla silajlık mısıra besin elementi takviyesinin yapılabileceği, sulama suyunun yetersiz olduğu bölgelerde alternatif bir sulama suyu kaynağı olarak güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.


**Anahtar Kelimeler:** arıtılmış atık su, ağır metal, besin elementi, silajlık mısır, sulama yöntemleri

**Abstract**

This study was carried out in Van (Turkey) province, has semi-arid climate in 2015 and 2016. In the study, it was aimed to determine the macro micro nutrient element and heavy metal content changes in silage maize by comparing the wastewater (AS) applications with different irrigation methods [Subsurface drip (SSDI), surface drip (SDI), traditional furrow (FI)] and irrigation levels [full irrigation (% 100; K0), % 33 deficit (K1) and % 67 (K2) deficit] with clean water (TS). In treated wastewater applications, increases in the N, P, K, Ca, Mg, B, and Fe contents of the plant were increased by about 28%, 28%, 26%, 12%, 47%, 23% and 24% respectively. In heavy metal contents (Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni), changes between 75% and 770% were observed. Moreover, in all three irrigation methods, the micro-trace element accumulation order in the plant was realized as Fe> Mn> Zn> B> Cu> Cr> Pb> Ni> Cd. Along with the irrigation water limited, macro and micro element contents in plants have decreased. At the end of the study, it was concluded that nutrient supplements can be added to silage maize with treated wastewater, and can be safely used as an alternative source of irrigation water in regions where irrigation water is insufficient.

**Keywords:** treated wastewater, heavy metal, nutrient element, silage maize, irrigation methods.

<sup>1</sup>\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Talip Çakmakçı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, Van. E-mail: [talipcakmakci@yyu.edu.tr](mailto:talipcakmakci@yyu.edu.tr)  ORCID: 0000-0001-5815-1256

<sup>2</sup>Üstün Şahin, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakülte, Tarımsal Yapılar ve Sulama Böl., Erzurum. E-mail: [ussahin@atauni.edu.tr](mailto:ussahin@atauni.edu.tr)  ORCID: 0000-0002-1924-1715  
**Atıf/Citation:** Çakmakçı, T., Şahin, Ü. Arıtılmış atık suyun farklı sulama yöntemleriyle uygulanmasının silajlık mısırdaki makro-mikro element ve ağır metal birikimine etkisi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), 12-23.

\*Bu çalışma Doktora tezinin bir kısmıdır.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2020

Dünya nüfusunun % 40' ı su yetersizliğinin baskısını yaşamaktadır (Calzadilla ve ark. 2011). Türkiye de 1 386 m<sup>3</sup>lük yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı ile su azlığı çeken bir ülke konumundadır. Önümüzdeki yıllarda da hızlı nüfus artışı, kentleşme, artan gıda talebi ve iklim değişikliğine bağlı olarak su talebinde ciddi bir artış yaşanacağı ve bunun sonucunda da su kıtlığı yaşanacağı aşikârdır. Artan su yetersizliği atık suyun yeniden kullanılması için önemli bir etken olup (Çakmakcı ve ark. 2016), temiz su kaynaklarının kentsel ve endüstriyel kullanımdaki ekonomik değerinin artmasıyla, atık su giderek daha düşük maliyetli ve güvenilir bir alternatif su kaynağı haline gelmektedir.

Atık su, büyük ölçüde tüm yıl boyunca mevcut olan bir su ve besin kaynağı olarak kabul edilir (Hussain ve ark. 2002; Qadir and Scott 2010; Becerra-Castro ve ark. 2015). Atık su, işlenmiş olsa dahi, 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. Qadir ve ark. (2007), evsel atık suyun hektar başına 1000 m<sup>3</sup> kullanılması durumunda, 16-62 kg azot, 4-24 kg fosfor ve 2-96 kg arasında potasyum katkısı sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Tripathi ve ark. (2016), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemi ile atık suyun karnabahar bitkisine uygulaması ile bitki içeriğindeki azotta %28.3, fosforda %21.1 ve potasyumda %38.3 artış sağlandığını bildirmişlerdir.

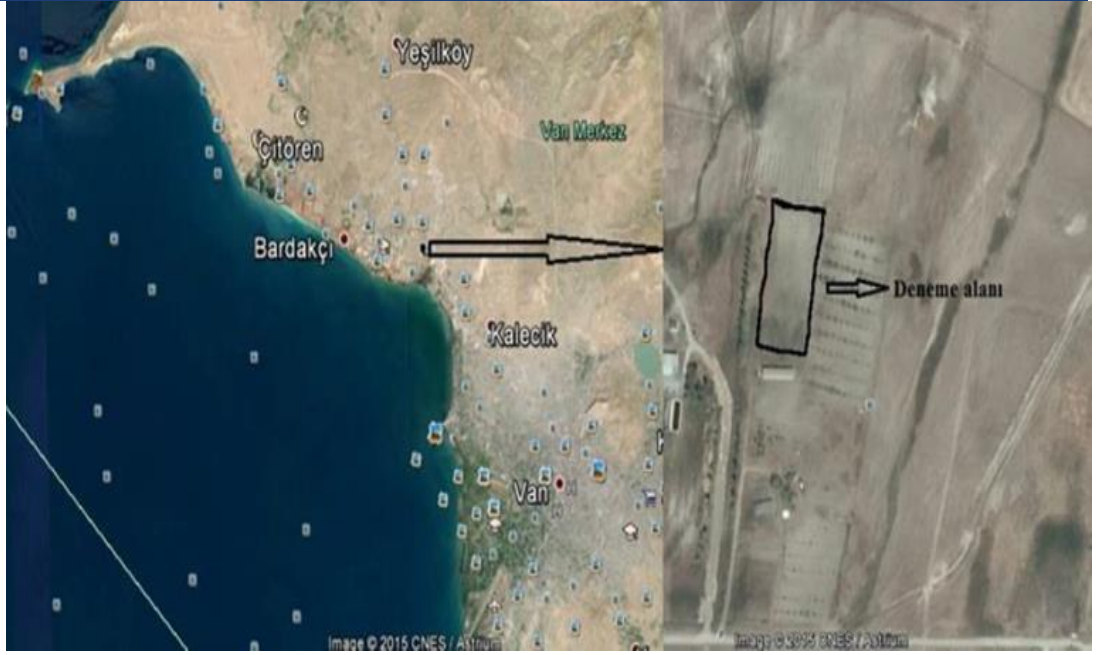
Artılarak kullanılan atık suyun avantajlarının yanında artırılmadan direkt olarak kullanılması sağlık ve çevresel risk oluşturduğu için birçok ülkede de endişe verici olmaktadır (WHO 2006). Çünkü arıtılmış atık suyun içinde besleyici maddeler dışında ağır metaller, tuzlar ve zararlı kimyasallar bulunmaktadır. Tuzlar, osmotik stres ve/veya toksisite ile bitkileri etkileyebilmektedir. Kiziloglu ve ark. (2007), farklı arıtma işlemlerinden geçirilmiş atık suyun lahanaya bitkisine uygulamasıyla toplam verimin ve bitki element içeriklerinin (N, P, K, Fe, Mn, Zn, Cu, B ve Mo) artırdığını belirtmişlerdir. Rusan ve ark. (2007), atık su ile arpa bitkisinin sulanmasıyla bitkideki temel besin maddelerinin yüksek olduğunu ve atık suyun iki yıllık kullanımıyla bitkideki Cu, Zn, Fe, Mn içeriklerinin de arttığını bildirmişlerdir. Amiri ve ark. (2008) İran'da yaptığı çalışmada yoncada atık suyun kullanılmasıyla bitkideki ağır metal içeriklerinin arttığı özellikle de Pb, Cr ve Ni 'de sınır değerleri de aştığını belirtmişlerdir. Selim (2008), mercimek ve darıda atık suyun iki yıllık kullanımıyla bitkinin gereksinim duyduğu kadar bazı besin elementlerini (N, P ve K) sağladığını tespit etmiştir. Khan ve ark. (2009), ayçiçeği bitkisinin atık suyla sulanması sonucunda ayçiçeği yapraklarında Na, Ca ve Mg içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir. Cicek ve ark. (2013), evsel atık sularla sulanan buğday bitkisinde N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Dünyada ve ülkemizde atık suyun sulamada kullanımı ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen, özellikle ülkemizde farklı sulama yöntemleriyle arıtılmış atık suyun kullanımına ilişkin çalışmalara rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmada farklı sulama suyu seviyelerinde arıtılmış atık su ve temiz suyun yüzey üstü, yüzey altı damla sulama ve karık sulama yöntemleri ile uygulanmasının silajlık mısırın ağır metal, makro ve mikro besin element içerikleri arasındaki ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

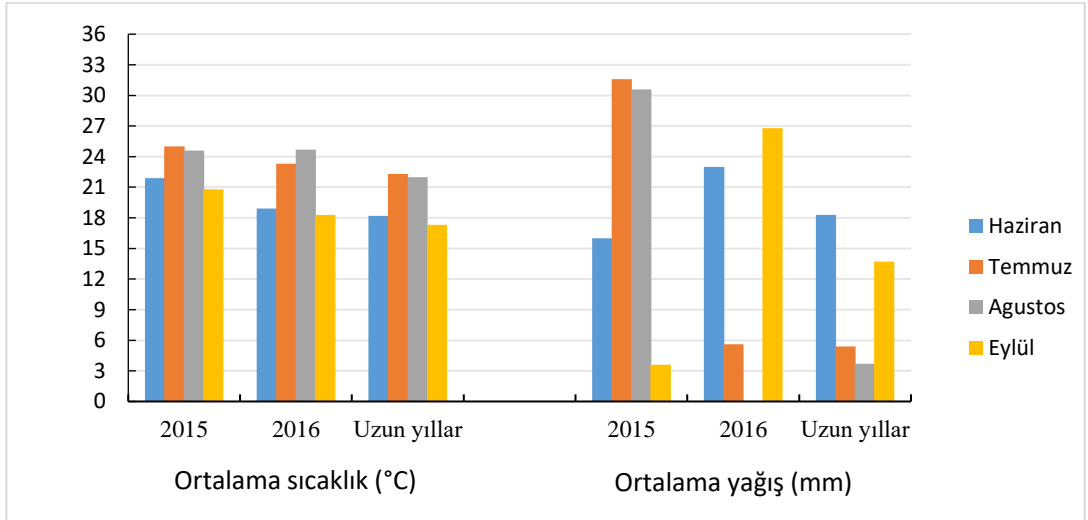
### Materyal ve Yöntem

Bu araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma İşletme Müdürlüğü'ne ait deneme alanında 2015 ve 2016 yıllarında yürütülmüştür. Deneme alanı 36, 57 kuzey enlem 43, 29° doğu boylamında ve denizden 1680 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 1).

Deneme alanı karasal iklim kuşağında yer almasına rağmen, Van Gölü'ne yakınlığından dolayı iklim daha yumuşak geçmektedir. Deneme alanına ait 2015- 2016 yılları ve uzun yıllar (Anonim 2016) ortalama sıcaklık ve yağış verileri Şekil 2'de verilmiştir. 2015 ve 2016 yıllarına ait iklim verileri deneme alanında mevcut olan meteoroloji istasyondan alınmıştır. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel, kimyasal, hidrolik özellikleri Çizelge 1'de, mikro element ve ağır metal içerikleri de Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneme alanı görüntüsü  
Figure 1. Study field image



Şekil 2. Deneme alanı iklim verileri\*  
Figure 2. Study area climate data

\*iklim verileri vejetasyon dönemini kapsamaktadır. 2016 Ağustos ayında yağış gerçekleşmemiştir

Denemede, bölge ekolojisine adapte olmuş yazlık orta erkenci OSSK-644 çeşidi hibrit silajlık mısır kullanılmıştır. Temiz su deneme alanındaki sulama havuzundan alınmıştır. Evsel nitelikli artırılmış atık su ise Van İskele Atıksu Arıtma Tesisi'nden arazöz yardımıyla deneme alanındaki 10'ar tonluk 2 tanka doldurulmuş ve bir gün içerisinde sulamada kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel, kimyasal ve hidrolik özellikleri

Table 1. Some physical, chemical and hydraulic properties of the study area soil

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Ph	8.08	Toplam N (%)	0.078
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.217	K <sub>2</sub> O (kg da <sup>-1</sup> )	84.3
Bünye	Kumlu killi tın	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg da <sup>-1</sup> )	9.68
Hacim ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	1.31-1.40	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	14.70
Tarla kapasitesi %	30.4-31.3	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	4.92
Devamlı solma noktası %	18.0-18.3	Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.311
Organik madde (%)	1.06	K (cmol kg <sup>-1</sup> )	1.03

Çizelge 2. Deneme alanı toprağının bazı mikro element ve ağır metal içerikleri

Table 2. Some micro-elements and heavy metal contents of the study area soil

Element	Değer	Element	Değer
B (mg kg <sup>-1</sup> )	0.202	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	3.64
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	4.21	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0.018
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	2.14	Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	0.178
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	7.35	Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	0.119
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	52.2		

Çalışma, tesadüf blokları faktöriyel deneme desenine göre her sulama yöntemi [(yüzey altı damla (YA), yüzey üstü damla (YÜ) ve geleneksel karık sulama (GS)] için ayrı ayrı planlanmıştır (Şekil 3). Denemede, iki farklı su kalitesi [arıtılmış atık su ve temiz su (kontrol)] ve üç farklı sulama seviyesi (%100, %67, %33) uygulanmış olup 3 tekrürlü olarak toplam 54 parselde yürütülmüştür. Deneme parselleri 70 cm sıra aralığına sahip 5 sıradan oluşmakta olup, 3.5 m x 7 m boyutlarında olmak üzere 24.5 m<sup>2</sup> alana sahiptir. Farklı uygulamalardan kaynaklanabilecek etkileşimi önlemek amacıyla parseller arasında 2 metre, bloklar arasında 2.5 m ve sulama yöntemi konuları arasında da 3 m boşluk bırakılmıştır.

Denemenin birinci yılı toprağın geç tava gelmesi nedeni ile 18 Haziran 2015 tarihinde ikinci yıl ise toprağın uygun tava olduğu 3 Haziran 2016 tarihinde 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 2015, ikinci yıl 26 Eylül 2016 tarihinde elle hasatlar gerçekleştirilmiştir.

Hem yüzey altı hem de yüzey üstü damla sulama sistemleri ana boru (Ø75), manifold borular (Ø32) ve lateral (Ø16) hatlardan oluşturulmuştur. Kullanılan lateraller 33 cm aralıklı içten geçmeli (in-line) 2.3 l h<sup>-1</sup> debili damlatıcılara sahiptir. Yüzey üstü damla sulama sisteminde her sıraya bir lateral gelecek şekilde 70 cm aralıklarla yüzeye serilmiş olup, yüzey altı damla sulama sisteminde ise lateraller yaklaşık 25 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Sulama zamanının belirlenmesi için referans ET<sub>0</sub> yaklaşımı kullanılmıştır. Deneme alanında bulunan meteoroloji istasyonundan (Imetos 2 modeli) günlük iklim verileri alınarak Penman-Monteith yöntemini referans alan CROPWAT 8.0 yöntemi ile gerekli hesaplamalar yapılmış ve referans ET<sub>0</sub> değeri 50 ±5 mm olduğunda sulama miktarını belirlemek için toprak nemi ölçülmüştür. Her sulamada uygulanacak olan sulama suyu miktarı, temiz suyla (kontrol) sulanan parsellerden olmak üzere 90 cm derinlikten her sulama öncesi gravimetrik olarak toprak neminin belirlenmesiyle hesaplanmıştır. Belirlenen mevcut nem düzeyleri tarla kapasitesine tamamlanarak sulamalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Sulama yöntemleri  
Figure 3. Irrigation methods

Çalışmada, tam sulama konularına uygulanacak olan sulama suyu miktarı ve hacmi, aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır (Güngör ve Yıldırım 1989).

$$I = \frac{(TK-MN)}{100} \times \gamma t \times D \times P \quad \text{Eşitlik 1}$$

$$V = I \times A \quad \text{Eşitlik 2}$$

Eşitlik 1 ve 2’de, I: Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı (mm), TK: Tarla kapasitesinde tutulan nem (% Pw), MN: Mevcut nem (% Pw),  $\gamma t$ : Toprağın hacim ağırlığı ( $g\ cm^{-3}$ ), D: Etkili kök derinliği (mm), P: Islatma oranı (geleneksel karık sulamada: 1, yüzev üstü damla sulamada: 0,65 ve yüzev altı damla sulamada: 0,50), V: Her sulamada uygulanacak sulama suyu hacmi (l), A: Parsel alanı ( $m^2$ )’ nı belirtmektedir. Kısıt uygulamalarında tam sulama konularına uygulanan su miktarları 0,67 ve 0,33 katsayılarıyla düzeltilmiştir.

Denemede su kaynağı olarak kullanılan temiz ve artırılmış sudan her iki deneme yılında da Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalarında örnek alınmıştır. Bu örneklerde; pH ve EC; Ayyıldız (1983),  $CO_3$ ,  $HCO_3$  ve Cl; Tüzüner (1990),  $SO_4$  ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ); HACH (2005), biyolojik oksijen ihtiyacı ( $BOI_5$ ) ve toplam P (TP); HACH (2010), askıda katı madde (AKM) (APHA, 1995), toplam N (TN); Anonim (2015), Fekal koliform; Eckner (1998), Katyonlar (Ca, Mg, Na, K) ve mikro elementler (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) ise Anonim (1996, 2007)’de belirtilen metotlarla saptanmıştır.

Toprak örneklerinde pH; Richards (1954), EC; Tüzüner (1990), Organik madde; Walkey (1947), Toplam azot; Allison ve ark. (1965), alınabilir  $K_2O$ ; Richards (1982), alınabilir  $P_2O_5$ ; Olsen ve ark. (1954) ve değişebilir Ca, Mg, Na, ve K içeriği ise Richards (1982)’nin yöntemine göre belirlenmiştir. Topraktaki mikro elementlerde Anonim (1996, 2007) baz alınarak örnekler öncelikle yaş yakma cihazında (ETHOS EASY, Milestone S.r.l., İtalya) yüksek basınçta asit karışımıyla yakılmış, daha sonra filtre kağıdında süzülüp ICP-OES (Thermo Scientific iCAP 7000 Series) cihazında okuması yapılmıştır. Toprakların kimyasal özellikleri, toprak ile bitkilerin makro-mikro element ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında ve üniversite bünyesinde yer alan Bilim Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır.



## İstatistiksel Analiz

Denemede elde edilen veriler SPSS (Ver. 21) istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Uygulamalar arasında farkın olup olmadığının belirlenmesinde one-way ANOVA varyans analizi kullanılmış ve önemlilik düzeyi de Duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir (Duncan 1955; Açıkgoz 1993).

## Bulgular

### Sulama suyu kalite özellikleri

Sulama sularının bazı kimyasal bileşenleri, makro ve mikro element ve ağır metal içerikleri Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, denemede kullanılan temiz suyun pH değerlerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ne (Anonim 2008) göre 1. sınıf su sınıflamasına girdiği görülmektedir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Anonim 2010)’ne göre temiz suyun elektriksel iletkenlik (EC) değeri 1. sınıf su, arıtılmış atık suyun ise 2. sınıf su kategorisindedir. Suların AKM miktarları da kullanılabilir sınır değerinin (50 mg l<sup>-1</sup>) altında kalmıştır (Anonim, 2010).

Çizelge 3. Sulama sularının bazı kimyasal ve mikro element içerikleri  
Tablo 3. Some chemical and micro element contents of irrigation waters

Parametreler	Temiz su	Arıtılmış atık su	Parametreler	Temiz su	Arıtılmış atık su
pH	8.15-8.40	7.15-7.90	B (mg l <sup>-1</sup> )	0.0-0.06	0.27-0.44
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.359-0.415	0.918-1.052	Mn (mg l <sup>-1</sup> )	0.004-0.011	0.048-0.074
Ca (me l <sup>-1</sup> )	0.83-1.01	2.45-2.69	Cu (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.010-0.016
Mg (me l <sup>-1</sup> )	1.37-1.60	3.08-3.57	Fe (mg l <sup>-1</sup> )	0.042-0.072	0.351-0.484
Na (me l <sup>-1</sup> )	0.83-1.01	4.14-4.72	Zn (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.007-0.013
K (me l <sup>-1</sup> )	0.09-0.16	0.95-1.14	Cr (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.002-0.004
CO <sub>3</sub> (me l <sup>-1</sup> )	-	-	Cd (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.001-0.002
HCO <sub>3</sub> (me l <sup>-1</sup> )	1.86-2.34	5.37-5.74	Ni (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.019-0.031
Cl (me l <sup>-1</sup> )	0.35-0.48	1.76-2.03	Pb (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.004-0.008
SO <sub>4</sub> (me l <sup>-1</sup> )	0.55-0.70	1.39-1.78	SAR	0.74-0.85	2.44-2.81
TN (mg l <sup>-1</sup> )	-	8.25-10.52	RSC (me l <sup>-1</sup> )	-	0.05
TP (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.68-1.24	% Na	25.0-26.7	37.7-41.7
AKM (mg l <sup>-1</sup> )	-	24-34	BOI <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	-	20.1-25.8
KOI (mg l <sup>-1</sup> )	-	33.4-40.5	Fekal koliform (EMS 100 ml <sup>-1</sup> )	-	120-185

% Na ve SAR değerlerinin arıtılmış atık sularda daha yüksek olduğu görülmüş ancak sulamada kullanılabilir sınırlar içerisinde kaldığı anlaşılmıştır (Ayers ve Westcot 1994; Anonim 2010; Kanber ve Ünlü 2010). Anonim (2010)’a göre her iki sulama suyunun Cl, B, K ve SO<sub>4</sub> içerikleri kullanılmasında sakınca olmayan sular sınıfında yer almıştır.

Arıtılmış atık suların Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni ve Pb içerikleri Atık su 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 zengin azot ve fosfor içerikleri gelmektedir. Arıtılmış atık suların toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) içeriklerine göre değerlendirildiğinde IV. sınıf sular oldukları görülmektedir (Anonim 2008). Denemede kullanılan arıtılmış atık suyun Anonim (2008)’e göre sınır değerleri dikkate alındığında, KOI değerleri bakımından II. Sınıfta olduğu, BOI<sub>5</sub> değerleri açısından ise IV. sınıfta yer aldığı görülmektedir. Ayrıca fekal koliform içeriği yönünden yapılan değerlendirmeler sonucunda da 2. sınıfta olduğu belirlenmiş olup kullanımında sıkıntı bulunmamaktadır.

### Uygulanan sulama suyu miktarları

Çalışmada temiz su ve arıtılmış atık su konularına eşit miktarlarda sulama suyu uygulanmıştır (Çizelge 4). Her iki deneme yılında tohum ekimi sonrası homojen bir çıkışı sağlamak amacıyla planlı sulamalara kadar yağmurlama sulama yöntemi ile 2015 ve 2016 yıllarında sırasıyla 92,7 mm ve 55,0 mm temiz su bütün

parsellere eşit miktarlarda uygulanmıştır. Denemenin birinci yılında toplam 14, ikinci yılında ise 13 defa sulama yapılmıştır. Denemenin ikinci yılında hava sıcaklıklarının daha düşük seyretmesinden dolayı birinci yıla göre 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 4. Uygulanan mevsimlik sulama suyu miktarları (mm)  
Table 4. Applied seasonal irrigation water amounts (mm)

Sulama yöntemi	Sulama seviyesi	Sulama suyu miktarı (mm)	
		2015	2016
YA	K0	305.9	289.8
	K1	233.4	209.9
	K2	163.0	132.5
YÜ	K0	386.2	365.0
	K1	286.4	259.6
	K2	163.0	157.3
GS	K0	591.2	577.0
	K1	421.7	399.5
	K2	257.2	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

Çalışmanın her iki yılında da sulama aralığı 7-9 gün arasında değişmiş, en kısa sulama aralıkları sıcaklığın yüksek olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Damla sulama yöntemlerinde (YA ve YÜ) 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 (Orta ve ark. 2000; İbragimov ve ark. 2007; Kesmez 2009; Okursoy, 2009; Ghamarnia ve Sepehri 2010).

#### Bitkilerin makro element içerikleri

Yüzey altı ve yüzey üstü damla sulama ile geleneksel karık sulama yöntemlerinde farklı uygulamalar altında bitkilerdeki N, P, K, Ca ve Mg içeriğindeki değişimler Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde, YA, YÜ ve GS yöntemlerinin üçünde de su kalitesinin ve sulama miktarlarının makro element (N, P, K, Ca ve Mg) içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bulunmuştur. Sulama suyu kısıtıyla element içerikleri 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 sebebinin de atık suların temiz suya oranla bu elementleri daha fazla içermesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çok sayıda araştırmacı, bitki gelişimi için gerekli olan besin elementlerinin özellikle N, P ve K'un atık sularla temiz suya kıyasla daha fazla bulunduğunu belirtmişlerdir (Zavadil 2009; Challam and Chaturvedi 2013; Mousavi ve ark. 2013; Fesliyen 2017). Cicek ve ark. (2013) atık sularla sulanan buğday bitkisinde N, P, K, Ca, Mg içeriklerinde artış olduğunu bildirmiştir. Qadir ve ark. (2007) evsel atık suyun tarımda kullanımı ile bitkiye ve topraklara potasyum katkısı sağlanacağını ifade etmişlerdir.

#### Bitkilerin mikro element ve ağır metal içerikleri

Çizelge 6 ve Çizelge 7 incelendiğinde tüm sulama yöntemlerinde sulama miktarının azalışıyla mikro element ve ağır metal içerikleri azalmış, AS konularında TS uygulamalarına göre istatistiksel olarak daha önemli değerler gözlemlenmiştir. Bitkiye verilen sulama suyu miktarının azalışına bağlı olarak bitkide de elementlerin daha az birikmesi birçok çalışmada da tespit edilmiştir (Kuslu ve ark. 2008; Simsek ve ark. 2011; Kuscı ve ark. 2014; Şahin ve ark. 2015). Geleneksel karık yönteminde Cu, Pb ve Cr içerikleri, yüzey altı damla sulama yönteminde ise diğer mikro ve ağır metaller atık suyla tam sulanan konuda en yüksek miktarlarda belirlenmiştir. Hem makro hem de mikro element ve ağır metal içeriklerinin (Cu, Pb ve Cr hariç) yüzey altı

damla sulama yönteminde daha fazla birikmesi, bu yöntemde bitki kök bölgesine doğrudan verilen suyun, azalan buharlaşma kayıplarından dolayı transpirasyonda daha fazla kullanımıyla açıklanabilir. Ayrıca atık suyla sulama koşullarında daha yüksek makro ve mikro element ve ağır metal içeriklerinin belirlenmiş olması da kullanılan atık suların ağır metal ve mikro element içermeleriyle açıklanabilir.

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 ve ark. (2010), sorgum bitkisinin sulanmasında AS kullanımında bitkideki Fe, Cu, Zn, Pb ve Mn içeriklerinde temiz suya oranla artışların olduğunu bildirmişlerdir. Arora ve ark. (2008) ve Qureshi ve ark. (2016), şalgam, turp ve havuç bitkisinin artırılmış atık suyla sulanması sonucunda bitkideki ağır metal birikiminin Fe > Mn > Zn > Cu şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalardan atık suyun bitkilerde mikro element ve ağır metal içeriklerini artırdığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 5. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların makro element içeriklerine etkisi (2015-2016)  
Table 5. The effect of different irrigation methods on macro element contents (2015-2016)

El.	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
N (%)	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	
P (mg/kg)	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	
K (mg/kg)	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	
Ca (mg/kg)	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	
Mg (mg/kg)	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	

El: element; 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; \*: p<0.05 \*\*: p<0.

Çizelge 6. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların bitki mikro element içeriklerine etkisi (2015-2016)  
Table 6. The effect of different irrigation methods on plant micro element contents (2015-2016)

El.	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
B (mg/kg)	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	
Fe (mg/kg)	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	1295 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	

El: element; 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; \*: p<0.05 \*\*: p<0.01



Çizelge 7. Farklı sulama yöntemlerinde uygulamaların bitki ağır metal içeriklerine etkisi (2015-2016)  
Table 7. The effect of different irrigation methods on plant heavy metal contents (2015-2016)

El.	Sulama Seviyesi	YA			YÜ			GS		
		AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.	AS	TS	Ort.
Cu (mg/kg)	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	
Mn (mg/kg)	K0	60.5 a**	20.8 c	406 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	
Zn (mg/kg)	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	
Pb (mg/kg)	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	
Cd (mg/kg)	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	
Cr (mg/kg)	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	
Ni (mg/kg)	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	

El: element; 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; \*: p<0.05 \*\*: p<0.01

## Sonuç

Denemede kullanılan temiz ve artırılmış atık suların pH, EC, SAR değerleri incelendiğinde; bu suların sulamada kullanımında sıkıntı olmayan sular sınıfında yer aldığı görülmektedir. Artırılmış atık sular toplam N, toplam P içerikleri ve BOİ5 değeri bakımından 4. sınıf, fekal koliform miktarına göre de 2. sınıf su olarak değerlendirilmiştir.

En düşük sulama suyu gereksinimi 2015 ve 2016 yıllarında sırasıyla 234.1 mm ve 210.7 mm ile yüzey altı damla sulama yönteminde, en yüksek ise yine sırasıyla 423.4 mm ve 401.3 mm ile geleneksel karık sulama yönteminde belirlenmiştir. YA sulama yönteminde YÜ ve GS sulama yöntemlerine kıyasla sırasıyla % 21 ve % 49 oranında daha az sulama suyu kullanılmıştır.

Artırılmış atık su uygulamalarında temiz suya kıyasla bitkinin N, P, K, Ca, Mg, B ve Fe içeriklerinde sırasıyla yaklaşık %28, %28, %26, %12, %47, %23 ve %24 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. Ağır metal içeriklerinde (Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr ve Ni) ise %75 - %770 arasında değişimler gözlemlenmiştir. Bütün sulama yöntemlerinde birikim sıralaması Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd şeklinde gerçekleşmiş ve elde edilen değerler toksik etki yaratabilecek seviyelerin altında kalmıştır. Bitkideki makro-mikro element ve ağır metal içerikleri tüm sulama yöntemlerinde su kısıtı uygulamasıyla birlikte azalış göstermiştir.

Çalışma sonucunda arıtılmış atık suların temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu koşullarda ve atık suyun bertarafı kapsamında silajlık mısır yetiştiriciliğinde kısa süreli kullanımda herhangi bir sorun yaratmadan kullanılabilceği belirlenmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, sorumlu yazarın doktora çalışmasının bir kısmıdır.

**Kaynakça/References**

- Açıkgöz N 1993. Tarımda Araştırma ve Deneme Metotları. E.Ü.Z.F. Yayınları, No: 478, III. Basım, İzmir.
- Allison, L., Bollen, W.B., Moodie, C.D., 1965. Total carbon. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 1346-1366.
- Amiri, S.S., Maralian, H., Aghabari, A., 2008. Heavy metal accumulation in under crown *Olea europaea* L forest irrigated with wastewater. *African Journal of Biotechnology*, 7(21), 3912-3916.
- 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 2015. AOAC, "Official methods of analysis", method 979.09 <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=27450> (11.12.2015).
- Anonim 2016. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN> (19.01.2018).
- APHA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMWW\\_1000-3000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf) (05.07.2015).
- 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.
- Ayers RS, Westcot DW 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.
- Becerra-Castro C, Lopes AR, Vaz-Moreira I, Silva EF, Manaia CM, Nunes OC 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75: 117-135.
- Calzadilla A, Rehdanz K, Tol RS 2011. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42: 305-323.
- Challam BS, Chaturvedi SS 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 MR, 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.
- Çakmakcı 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.
- Duncan DB 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11(1): 1-42.
- Eckner KF 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.
- EPA 2004. Guidelines For Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Fesliyen K 2017. Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, 277 s.
- Galavi M, Jalali A, Ramroodi M, Mousavi SR, 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.
- Güngör Y, Yıldırım O 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları 1155, 371 s, Ankara.
- 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).
- Hussain I, Raschid L, Hanjra MA, 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.
- İbragimov N, Eevet S, Esanbekov Y, Kamilov BS, Mirzaev L, Lamers JP, 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 90: 112-120.
- Kanber R, Ünlü M 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Kitap No: A-87, Adana.
- Kesmez GD 2009. Karık ve damla sulama yöntemlerinin aşılı domateste meyve verimi kalitesi ile toprak tuzluluğuna etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, Doktora Tezi, 100 s.
- Khan, M.A., Shaikat, 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.
- Kiziloglu FM, 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.
- Kuslu Y, Dursun A, Sahin U, Kiziloglu FM, 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 AO 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.
- Mousavi SR, 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.
- Okursoy H 2009. Trakya koşullarında farklı sulama yöntemleri altında ikinci ürün silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, Doktora Tezi, 176 s.
- 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.
- Orta H, Yüksel AN, Erdem T 2000. Tekirdağ koşullarında farklı sulama yöntemlerinin elma ağaçlarının su tüketimine etkisi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 6(3), 109-115.
- Richards LA., 1954. Diagnosis and improvements salina and alkali soils. U.S. Department Agriculture Handbook 60, Stroudsburg, U.S.A.
- Richards, K. 1982: Rivers: form and process in alluvial channels. London: Methuen
- 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.
- Sahin U, Kuslu Y, Kiziloglu FM 2015. Response of cucumbers to different irrigation regimes applied through drip-irrigation system. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(1): 198-205.
- Selim, M.M., 2008. Evaluation of the re-use of treated wastewater for irrigation. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(4), 477-484.
- 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.
- Qadir M, Wichelns D, Raschid-Sally L, Minhas PS, Drechsel P, Bahri A, McCormick PG, 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 CA 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 AS, Hussain MI, Ismail S, Khan QM 2016. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. *Chemosphere*, 163: 54-61.
- Tripathi VK, Rajput TBS, 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.
- Tüzüner A 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- 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.
- WHO 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater Excreta and Greywater, volume2: wastewater use in agriculture, World Health Organisation, Geneva.
- 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.