



Nilüfer Çayı ve Farklı Arıtma Tesisleri Atıksularının, Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*

Hasan Fatih AKIN¹, Barış Bülent AŞIK^{1**}

¹Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bursa, Türkiye
*e-posta:bbasik@uludag.edu.tr

*Bu çalışma yüksek lisans tez verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Geliş Tarihi: 09.05.2017; Kabul Tarihi: 04.10.2017

Öz: Bu çalışmada Nilüfer Çayı ve Ayvalı Deresi ile BUSKİ ve Penguen AŞ. arıtma tesisi atıksularının toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri belirlenmiştir. Sera koşullarında, mısır bitkisi ile vertisol toprak kullanılarak yürütülen çalışmada bitki kuru ağırlığı ve ağır metal içeriği belirlenmiştir. Ayrıca ele alınan su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanımında toprağın pH, EC, bitki besin elementi ve alınabilir ağır metal içeriğindeki değişimler belirlenmiştir. Elde olunan sonuçlara göre sulama suyu kaynaklarına bağlı olarak en düşük pH değeri Nilüfer Çayı uygulamasında, en yüksek tuzluluk artışı ise Penguen atıksu uygulamasında belirlenmiştir. Toprağın NH₄ ve NO₃ azotu, alınabilir P, değişebilir Na ve K miktarları kontrol uygulamasına göre artışlar göstermiştir. Toprağın DTPA ile ekstrakte edilen ağır metal içeriğindeki değişimler, BUSKİ ve Nilüfer uygulamalarında artarken, Pb ve Cd dışında önemli bulunmamıştır. Bitki kuru ağırlığı Penguen atıksu uygulamasında kontrole göre azalmıştır. Bitkinin besin elementi ve ağır metal içeriğinde meydana gelen artışlar Mn dışında önemli düzeyde bulunmamıştır. Sonuç olarak ele alınan su kaynaklarının sulama amaçlı kullanımında toprakların tuzluluk ve ağır metal içeriğindeki artışların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, ağır metal, bitki gelişimi, toprak özellikleri.

Determining the Effects of Nilufer River and Different Wastewater Treatment Plant's Sewage on Soil Properties and Plant Growing

Abstract: The primary case and concepts of this work are aimed to study the Nilüfer creek and Ayvalı brook and the waste waters of the Penguen Food Industry's and BUSKI wastewater treatment plant and to determine its effects on soil characteristics and plant development. In greenhouse conditions, the dissertation on corn plant with vertisol soil identifies the plant's dry weight and the containment of heavy metal assay. Otherwise, the water sources in hand as the use of irrigation water

are determined the changes of the containment of heavy metal assay and soil's pH, EC and nutrients by this work. The results that are obtained show us the less lower pH is observed in execution of Nilüfer creek linked to the sources of irrigation water and also the highest salinity contents are observed in the execution of waste water of Penguen Facility. The soils' nitrogens of NH₄ and NO₃ shows the increasing rates of procurable P, transfusable Na and the K according to the controlled execution. The transfusions in soils's heavy metal containment are not considered significant except for Pb and Cd. Plant's dry weight indicates the decreased rates in the execution of Penguen waste water. Fluctants in the plants' nutrients are not considered significant. Depending on the executions, the changes in the containment of heavy metal in plants are not considered significant except for Mn rates. Consequently, increments of soil salinity and the containment of heavy metal in soil are taken into consideration as the use of irrigation water of the water sources in hand of this search.

Keywords: Heavy metal, plant growth, soil properties, wastewater.

Giriş

Hızla artan sanayi oluşumları, içilebilir su kaynaklarının yanı sıra tarımsal üretimde kullanılabilecek suyun da kirlenmesine neden olmaktadır. Son yıllarda hızlı sanayileşme ve nüfus artışı ile birlikte çevre bilincinin gelişmemiş olması da su kirliliği üzerinde oldukça etkilidir. Bunların yanı sıra, içilebilir su kaynaklarının sorumsuzca kirletilmesi, geri dönüşümü olanaksız sorunların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Atalık, 2006; Dağlı 2005; Haviland, 2002). Su kirlenmesi, suyun içindeki yabancı madde miktarının sınır değerlerin üzerine çıkması, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulması, suya bağlı ekolojik sistemlerin de bundan etkilenerek olumsuz yönde değişmesidir (Meşeli, 2010).

Su talebinin artışı ve kaynakların kirlilik ve kuruma sonucu sınırlanması ile birlikte sürdürülebilir kaynaklar için değişik ve pratik çözümlere ihtiyaç vardır. Bu durumun getirisi olarak da arıtılmış suların tarımda kullanımı son yıllarda artış göstermeye başlamıştır. Atıksuların geri kullanımı ile hem sınırlı kaynaklardaki tüketimi azaltmakta hem de çevreye olan olumsuz etkileri aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Bursa yaklaşık 3 milyonluk nüfusu ile Türkiye'nin en büyük endüstri şehirlerinden biridir. Nilüfer çayı ve kolları da Bursa'nın en önemli su kaynağı durumundadır. Nilüfer çayı, Bursa şehrinden geçerek Marmara Denizi'ne dökülmektedir. Bursa bölgesinde Nilüfer çayı ve kolları genelde sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Nilüfer çayı Bursa şehrini geçmeden önceki bölümü ve Demirtaş Barajı bölgesi tarımsal amaçlı kullanıma uygundur ve çeşitli sulama sistemleri ile tarım kesimine hizmet etmektedir.

Çalışmamızda kullanılan Nilüfer Çayı ve kollarından olan Ayvalı Deresi de sanayi atıksuyu ve şehir kanalizasyonu ile kirliliğe maruz kalmış olan akarsulardandır. Bu durum günümüzde renk ve koku olarak kolaylıkla gözlenmektedir.

Arıtılmış sular; tarımsal sulama ve arazi sulaması, endüstriyel uygulamalar, çevresel uygulamalar (yüzey sularına verme ve yeraltı sularına deşarj), rekreasyon faaliyetleri, şehir temizliği, yangın, inşaat gibi klasik uygulamalarda tatlı suların yerine kullanılabilecek kaynaklar olarak öne çıkmaktadır (Meneses ve ark., 2010).

Arıtılmış atıksular ile tarımsal alanların sulanmasını temel alan projelerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için en önemli parametre arıtılmış atıksuyun kalitesidir. Arıtılmış

atıksuyun kalitesi, ham su kalitesine ve atıksuyun uygulandığı arıtma derecesine bağlıdır (Anonim, 2014).

Atıksuların yeniden kullanımı ile, (1) tatlı suların hassas ekosistemlerden uzaklaştırma oranının azaltılması, (2) hassas su kaynaklarına deşarjların azaltılması, (3) sulak alanların yaratılması veya çoğaltılması, (4) geri dönüştürülen suların sulama amaçlı olarak tekrar kullanılmasını, (5) kirliliğin azaltılması ve önlenmesine katkı sağlanmış olur. (Anonim, 2013)

Bu çalışma; Bursa Nilüfer Çayı, Ayvalı Deresi, BUSKİ Arıtma Tesisi ve Penguen A.Ş. Arıtma tesisinden alınan sular ile sera ortamında inkubasyon çalışması ile toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Kirliliğe maruz kalmış akarsuların ve arıtma tesislerinden deşarj edilen suyun tarımda kullanımı açısından etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Materyal ve Metod

Sulama Suyu Örneklerinin Alınması ve Analizleri

Çalışma kapsamında öncelikle denemede kullanılacak su örneklerinin sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla Nilüfer Çayı Yolçatı noktasından, Ayvalı Deresinden, BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisi, ve Penguen Gıda Atıksu Arıtma tesislerinden deneme süresince (Mayıs-Temmuz 2014) su örnekleri alınmıştır (Şekil 1). Denemede kontrol amaçlı olarak çeşme suyu kullanılmıştır.



Şekil 1. Örnekleme Noktaları

Su Analizleri

Çalışmada kullanılan sulama sularından alınan örneklere yapılan su analizleri şunlardır: Reaksiyon (pH), Elektriksel iletkenlik (EC), Karbonat (CO_3^-) ve Bikarbonat (HCO_3^-), Klor (Cl^-), Sülfat (SO_4^-), Katyonlar (Na, K, Ca ve Mg) (Sağlam 2001) Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve sulama suyu sınıfı ise EC değeri ve SAR değeri

değerlendirilerek belirlenmiştir (Ayyıldız, 1983). Nitrat (NO_3^-) (Robarge ve ark., 1983), Amonyum (NH_4^+) (Solorzano, 1969), Fosfor (P) (Olsen ve ark., 1954), Bor (B) (Wolf, 1971), ağır metaller ise ICP OES ile belirlenmiştir (Anonim, 1994).

Sera ve Inkubasyon Denemesi

Atıksuların toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla sera koşullarında iki farklı deneme kurulmuş ve yürütülmüştür. Bursa bölgesinde yoğun olarak tarım yapılan büyük toprak grubunun Toprak Taksonomisine göre sınıflandırılması Ordo (Vertisol), Alt Ordo (Xerert), Büyül Grup (Haploxerert), Alt Grup (Typic Haploxerert) ve Toprak Serisi (Çiftlik) olarak Özsoy (2001) tarafından yapılmıştır.

Birinci denemede atık suların bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla mısır bitkisi kullanılmıştır. 4 kg toprak alan saksılara 6 adet mısır “Euralis es Armandi (FAO 640)” tohumu ekilmiş ve çıkış sonrası 2 adet mısıra seyreltilerek 35 günlük gelişim periyodu sonunda toprak seviyesinden hasat edilmiştir. Birinci denemede bitki toprak üstü ve toprak altı aksamı (kök) ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

İkinci denemede beş farklı sulama suyu kaynağının toprak özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla aynı toprak örneği kullanılmış ve 4 kg toprak alana saksılarda deneme süresince tarla kapasitesini sağlamak koşulu ile periyodik olarak sulama yapılmıştır. 60 gün yürütülen denem sonunda saksılar paçal hale getirilerek örnekleme yapılmıştır. İnkubasyon denemesinde deneme başlangıcı ve deneme sonunda toprakta meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir.

Toprak Analizleri

Sera çalışmasında kullanılan topraktan deneme başlangıcında ve sonunda toprak örnekleri alınarak aşağıdaki analizler yapılmıştır. Toprakların kimi özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Mekanik analiz (Tekstür) (Bouyoucos, 1951), toprak reaksiyonu (pH) (Mclean, 1982), elektriksel iletkenlik (EC) (Rhoades, 1982), kireç (% CaCO_3) (Nelson, 1982), organik C (Nelson ve Sommers, 1982), toplam azot (N) (Nelson ve Sommer, 1982), amonyum (NH_4) ve nitrat (NO_3) (Robarge ve ark., 1983), alınabilir fosfor (P) (Watanabe ve Olsen, 1965), alınabilir ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn) Jones (2001)’e göre belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında yürütülen sera denemesi bitki çıkışından 35 gün sonra toprak seviyesinden kesilerek hasat edilmiştir. Bitkinin toprak üstü ve kök bölümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Örnekler önce çeşme suyunda yıkanarak, iki kez saf sudan geçirilmiş 65 °C deki havalı kurutma dolabında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan örnekler bitki öğütme değirmeninde öğütülerek homojen bir karışım halinde analize hazır duruma getirilmiştir (Kacar ve İnal, 2010).

Bitki ve Kök Analizleri

Azot (N) içeriği (Bremmer, 1965), fosfor (P) içeriği (Lott ve ark., 1956), potasyum (K, Ca, Mg, Na) (Horneck ve Hanson, 1998), ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn) Isaac ve Jhonson (1998)'e göre belirlenmiştir.

İstatistiksel analizler

Tez çalışması kapsamında yürütülen inkübasyon ve sera denemesinden elde edilen verilerin varyans analizi JUMP paket programı ile yapılmıştır. Ortalamalar arası farklılıkların karşılaştırılmasında LSD testi ($p<0,05$; $p<0,01$) kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprağın kimi özellikleri

	Özellikler	Miktar
%	Kum	35.1
	Silt	16.7
	Kil	48.3
	Tekstür	Kil
	pH	7.79
	EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	260
	Kireç, %	0.39
	Org.mad., %	1.76
	% N	0.14
mg kg^{-1}	$\text{NH}_4\text{-N}$	5.42
	$\text{NO}_3\text{-N}$	0.95
	Alınabilir P	20.2
g kg^{-1}	Değişebilir Na	0.11
	Değişebilir K	0.45
	Değişebilir Ca	6.64
	Değişebilir Mg	0.92
mg kg^{-1}	Toplam Pb	iz
	Toplam Cd	0.21
	Toplam Cr	142
	Toplam Ni	159
	Toplam Cu	22.9
	Toplam Zn	65.9
	Toplam Mn	56.0
mg kg^{-1}	DTPA eks Cd	0.04
	DTPA eks Cr	0.01
	DTPA eks Ni	3.35
	DTPA eks Cu	2.93
	DTPA eks Zn	0.67
	DTPA eks Mn	10.5
	DTPA eks Fe	11.3

Bulgular ve Tartışma

Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitesi

Çalışma kapsamında sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla Nilüfer Çayı Yolçatı noktasından (Nilüfer), Ayvalı deresinden (Ayvalı), BUSKİ doğu atıksu arıtma tesisi (BUSKİ) ve Penguen Gıda atıksu arıtma tesislerinden (Penguen) deneme süresince (Mayıs-Temmuz) alınan su ve atıksu örneklerinde yapılan kimi analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelgenin incelendiğinde kullanılan suların C₂S₁ ile C₃S₁ sulama suyu sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Sulama suyu analiz sonuçları sınır değerler ile karşılaştırıldığında ağır metaller açısından sınır değerlerin altında veya belirtilen sınır değerlerin arasında olduğu görülmüştür. Özellikle Penguen ve BUSKİ atıksu arıtma tesisleri deşarj sularının EC değerlerinin 3. sınıf kullanılabilir ve 4. sınıf ihtiyatla kullanılmalı sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında alınan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında deneme toprağının kimi özellikleri (pH, EC, organik madde, NH₄-N, NO₃-N, alınabilir P ve değişebilir Na, K ve Ca) ve kimi ağır metaller üzerine etkisi Çizelge 3 ve Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan su örneklerinde deneme süresince yapılan kimi analizler

Özellik	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen	Kontrol	Sınır Değer**
pH	7.12 ^a -7.74 ^b	7.68-7.87	7.31-7.45	7.25-7.30	7.75-8.01	6.5-9
EC, dS m ⁻¹	0.85-0.95	0.45-0.64	0.91-0.98	1.92-2.03	0.25-0.32	250-3000
HCO ₃ , meq l ⁻¹	4.55-5.00	5.12-5.14	6.55-7.01	6.11-7.45	2.02-2.58	150-1500*
CO ₃ , meq l ⁻¹	iz	iz	iz	iz	iz	-
SO ₄ , mg l ⁻¹	95.1-102	117-151	60.4-81.0	35.1-46.0	21.1-34.1	4-20
Cl, mg l ⁻¹	71.1-88.1	125-154	45.1-64.0	215-240	10.1-15.4	4-20
Ca, mg l ⁻¹	31.0-35.0	40.1-45.1	55.0-66.4	59.5-59.6	19.2-21.6	-
Mg, mg l ⁻¹	19.0-20.2	59.8-69.0	58.9-71.8	87.0-99.9	28.0-34.3	125-700*
K, mg l ⁻¹	8.10-10.1	10.2-13.1	25.0-30.1	10.9-20.1	3.20-4.21	100-600*
Na, mg l ⁻¹	98.4-120	156-198	54.4-61.4	205-251	12.1-13.5	15-700*
NH ₄ -N, mg l ⁻¹	3.98-4.02	iz	5.03-7.06	iz	iz	0 - 50
NO ₃ -N, mg l ⁻¹	iz	iz	0.10-0.22	iz	İz	0 - 50
PO ₄ -P, mg l ⁻¹	0.60-1.05	0.22-0.46	1.08-2.00	iz	iz	
B, mg l ⁻¹	0.25-0.35	0.61-1.02	0.20-0.30	0.05-0.10	iz	0.5 - 2
Cd, mg l ⁻¹	iz	iz	iz	iz	iz	0.01 - 0.05
Co, mg l ⁻¹	iz	iz	iz	iz	iz	0.05 - 5
Cr, mg l ⁻¹	iz	iz	iz	iz	iz	0.1 - 1
Cu, mg l ⁻¹	0.02-0.05	0.02-0.02	0.01-0.03	0.03-0.04	0.01-0.02	0.2 - 5
Fe, mg l ⁻¹	1.02-1.55	0.75-1.01	1.88-2.14	0.80-0.91	0.10-0.11	5 - 20
Mn, mg l ⁻¹	1.23-1.55	0.41-0.55	1.04-1.41	0.09-0.10	0.01-0.01	0.2 - 10
Ni, mg l ⁻¹	0.02-0.03	0.01-0.02	0.02-0.02	0.02-0.03	0.01-0.01	0.2 - 20
Pb, mg l ⁻¹	iz	iz	iz	iz	iz	5 - 10
Zn, mg l ⁻¹	0.01-0.02	0.32-0.41	0.05-0.06	0.02-0.03	0.01-0.02	2 - 10
TDS, mg l ⁻¹	544-608	288-409	582-627	1248-1299	160-204	175 - 2100
SAR	2.41-2.82	2.57-3.04	0.85-0.87	2.79-3.25	0.28-0.29	>10 - <26
SSS	C ₃ S ₁	C ₂ S ₁	C ₃ S ₁	C ₃ S ₁	C ₂ S ₁	C ₁ S ₁ - C ₄ S ₄

* Fiedler 1991, ** Anonim 1991, a. en düşük değer, b. en yüksek değer

Su Kaynaklarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Çalışma kapsamında toprağa uygulanan su kaynakları kontrol uygulamasına göre toprak pH'sını düşürmüştür. Uygulanan su kaynakları genel olarak değerlendirildiğinde Nilüfer suyu organik kirlilik yüküne sahiptir, bu suyun toprağa uygulanması ile toprakta organik maddenin mineralizasyonu da söz konusu olabilir. pH değerinin azalmasının nedeni, uygulanan atık suların pH değerlerinin düşük olmasından ileri gelmektedir. Topraklarda pH değerinin düşmesi kimi besin elementlerinin yarıyışlılığını arttırmaktadır (Anonim 2003). Shahalam ve ark. (1998) ve Uyanöz (2000) tarafından, atık suyun asidik, nötr veya bazik olmasına göre, toprakların pH değerini düşürdüğü, artırdığı veya etkilemediği bildirilmiştir. Çay (2013) atıksu uygulamaları sonucu, toprak pH'sındaki değişimlerin az olmasının nedeninin toprakların kil ve kireç kapsamlarından dolayı tamponlama kapasitesinin yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Deneme toprağının kireç içeriği düşük olmasına rağmen kil içeriği (%48.3) yüksektir.

Çizelge 3. Su kaynaklarının toprak özellikleri üzerine etkisi

	%					mg kg ⁻¹			
	pH	EC	OM	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	Na	K	Ca
Kontrol	8.21 a**	583 d**	1.49öd	1.89 cd**	20.0 b**	16.9 b**	101 c**	210 b**	8784 öd
Nilüfer	7.75 d	966 c	1.32	2.27 c	30.7b	17.8 b	246 ab	220 b	7370
Ayvalı	8.00 b	1084 bc	1.66	1.29 d	26.3 b	20.7 b	292 a	216 b	8426
BUSKİ	7.85 c	1189 ab	1.56	4.02 b	53.2 a	44.6 a	193 b	301 a	7739
Penguen	7.95 b	1270 a	1.53	7.05 a	52.9 a	30.9 ab	259 a	294 a	8828

*. $p < 0.05$, **. $p < 0.01$, öd: önemli değil

Çizelge 4. Su kaynaklarının toprağın yarıyışlı ağır metal içeriği üzerine etkisi

	mg kg ⁻¹							
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd
Kontrol	3.80 öd	4.75 öd	1.68 öd	0.98 öd	0.94 öd	0.003 öd	1.28 a**	0.029 ab*
Nilüfer	3.16	4.79	1.82	0.82	0.95	0.002	1.17 b	0.028 bc
Ayvalı	3.28	5.14	1.67	0.83	0.99	0.002	1.17 b	0.028 bc
BUSKİ	3.42	4.69	1.60	0.79	1.02	0.003	1.13 b	0.028 c
Penguen	3.52	5.23	1.74	0.88	1.02	0.003	1.26 a	0.030 a

*. $p < 0,05$, **. $p < 0,01$, öd: önemli değil

EC değerindeki artışlar su kaynaklarına göre farklı düzeylerde olmuştur. En düşük EC değeri kontrol uygulamasında, en yüksek EC değeri ise Penguen arıtma tesisi atıksuyu uygulamasında belirlenmiştir. Atıksu uygulamalarına göre, toprak EC değerindeki artışlar atıksuların ve su kaynaklarının tuzluluğu (EC değeri) ile ilgilidir. Atıksuların sulama suyu olarak kullanımını sınırlayan faktörlerin başında toprak tuzluluğunun artması gelmektedir (FAO, 2003). Atıksuların topraklara uygulanmasında tuzluluk değerini yükseltmesi ve toksik bileşiklerin birikmesi tarımsal uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden birisidir (Vaseghi ve ark., 2005).

Su kaynaklarının toprak organik maddesi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak organik madde içeriği % 1.32 ile 1.66 arasında değişim göstermiştir. Toprağın amonyum içeriği 1.29 mg kg⁻¹ ile 7.05 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Penguen ve BUSKİ arıtma tesisi atıksuyu uygulanan topraklarda kontrol uygulamasına göre NH₄-N miktarı daha fazla artış göstermiştir. Atıksu uygulamaları ile toprakların NO₃-N içerikleri ise 20.1 mg kg⁻¹ ile 53.2 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Nilüfer Çayı, Ayvalı Deresi, Penguen ve BUSKİ arıtma atıksuyu uygulamaları kontrol uygulamasına göre toprağın NO₃-N içeriğinde önemli düzeyde artış sağlamışlardır. Azot formlarındaki artışlar incelendiğinde NO₃-N içinde meydana gelen artışlar uygulamalara bağlı olarak meydana gelen nitrifikasyon sonucu amonyumun nitrata dönüşmesi ile açıklanabilir. Uygulamalar arasındaki farklılıklar ise uygulanan su kaynaklarının farklı kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kocaer ve Başkaya (2004) Nilüfer-Ayvalı deresi ile sulanan topraklarda inorganik azot formlarının sulama suyuyla birlikte eklenen amonyum azotunun nitrifikasyonu sonucu nitrat azotu konsantrasyonunda da bir zenginleşme olduğunu belirtmişlerdir. Angin ve ark. (2005) toprağın organik madde ve N içeriğinin artmasının toprak verimliliği açısından faydalı olabileceğini, pH değerinin düşmesinin bitki besin elementlerinin yarıyışlılığı açısından bitki gelişimini teşvik edeceğini belirtmiştir.

Farklı sulama suyu kaynakları uygulaması kontrole göre toprağın yarıyışlı P içeriğini artırmıştır. Day ve Tucker (1977) atıksu kullanımı ile gübre kullanımına gerek kalmayacak şekilde toprakların fosfor içerdiğinin arttığını belirtmişlerdir. Kalavrouziotis ve ark.(2008) da kentsel kökenli atıksu ile sulama sonucunda toprak P içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Alghobar ve ark. (2014) atıksu ile sulamanın toprakların Ca, Na, N, P ve K içeriklerini kontrol uygulamasına göre önemli düzeyde artırdığını bildirmiştir. Angin ve ark. (2005) atıksu ile sulama sonucu toprağın P içeriğinin arttığını bildirmiştir.

Toprağın değişebilir Na, K ve Ca içeriğindeki farklılıklar incelendiğinde; Ca içeriğinde meydana gelen değişim istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Bu sonuç deneme toprağının değişebilir Ca içeriğinin yüksek olması ile açıklanabilir. Toprağın değişebilir Na ve K miktarı en düşük kontrol uygulamasında belirlenmiş su kaynaklarına bağlı olarak değişebilir Na ve K miktarları artış göstermiştir. Belaid ve ark. (2012) atıksu uygulamalarının toprakların değişebilir Na, K ve Mg içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Uygulamalar arasındaki farklılıklar ele alınan su kaynaklarının farklı kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Topraklara sulama suyu uygulamalarında toprak özelliklerinin değişimi sulama suyu özelliklerinden başka toprak özelliklerine de (kil içeriği, kilin tipi, organik madde ve kireç kapsamı vb) bağlıdır. Angin ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada, atıksu ile sulama sonucu toprağın kontrol uygulamalarına bağlı olarak değişebilir katyon (Na, K, Ca ve Mg) içeriğinin önemli düzeylerde arttığını bildirmiştir.

Ele alınan su kaynaklarının toprağın alınabilir Pb ve Cd içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli (p<0,05, p<0,01) bulunmuştur. Toprağa uygulanan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkubasyon çalışması sonrasında toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn, Cu, Ni ve Cr içeriği üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4). Uygulamalara bağlı olarak toprağın Fe içeriği 3.16 mg kg⁻¹ ile 3.80 mg kg⁻¹, Mn içeriği 4.69 mg kg⁻¹ ile 5.14 mg kg⁻¹, Zn 1.60 mg kg⁻¹ ile 1.82 mg kg⁻¹, Cu 0.79 mg kg⁻¹ ile 0.98, Ni 0.94 mg kg⁻¹ ile 1.02 mg kg⁻¹, Cr 0.002 mg kg⁻¹ ile 0.003 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Uygulamalara bağlı olarak DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb ve Cd içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Pb içeriği en yüksek

kontrol uygulamasında 1.28 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ uygulamaları kontrol uygulamasına göre daha düşük (1.13 mg kg⁻¹ -1.17 mg kg⁻¹) bulunmuştur. Ekstrakte edilebilir Cd içeriği ise en yüksek Penguen arıtma tesisi atıksuyu uygulamasında belirlenmiştir. Atıksu uygulamalarına bağlı olarak topraklardaki ağır metal içeriğinin genelde önemsiz çıkması suların ağır metal içeriğinin düşük olmasından ve toprağın pH ve kil içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Yapılan çalışmanın süre açısından kısa olması da değerler arasındaki farklılıkların önemsiz çıkmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca toprağa uygulanan atık suların organik yüklerinin fazla olması toprak organik maddesi ve ağır metal yayırlılığının arasındaki ilişki ile açıklanabilir. Sharma ve ark. (2007) tarla koşullarında yapmış oldukları çalışmada, arıtılmış ve arıtılmamış atıksu ile sulama sonucu toprakların ve bu topraklarda yetişen pancar bitkisinin ağır metal içeriğinin arttığını belirlemişlerdir, bu artış çalışmanın yapıldığı farklı bölgelerde ve farklı örnekleme zamanlarında da gözlemlenmiştir. Kalavrouziotis ve ark.(2008) sera koşullarında yapmış oldukları çalışmada kentsel kökenli atıksu ile sulama sonucunda topraklardaki Mn, Fe, B, Co ve Ni içindeki değişimin önemsiz olduğunu belirlemişlerdir. Angin ve Ark. (2005) çalışmalarında atıksu uygulaması ile toprakların Fe, Cu, Mn, Zn içeriklerinin toprak derinliğine bağlı olarak, kontrole göre göreceli olarak 2 kat ile 14 kat arasında artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Rana ve ark. (2010) atıksular ile sulama sonucu toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal miktarlarının arttığını belirlemiştir. Özellikle bu artışların üst toprakta daha fazla olduğunu, toprağın kil içeriği ve organik madde içeriği ile ilgili olarak açıklamışlardır.

Su Kaynaklarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

Sulama amaçlı olarak ele alınan farklı su kaynaklarının mısır bitkisinin kök ve gövde besin elementi ve ağır metal içerikleri üzerine etkileri ve ilişkin istatistiksel farklılıklar Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Su kaynaklarının bitki gelişimi, bitki besin elementi ve ağır metal içeriği üzerine etkisi

Özellik	Sulama Suyu kaynakları										
	Üst (gövde)					Alt (kök)					
	Kontrol	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen	Kontrol	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen	
g s ⁻¹	KA	8.03 a**	8.42 a	7.96 a	8.03 a	6.89 b	4.66 öd	4.96	5.00	4.83	4.37
	N	2.12 öd	2.24	2.18	2.20	2.10	1.60 öd	1.58	1.57	1.55	1.59
%	P	0.76 öd	0.72	0.71	0.75	0.76	0.69 öd	0.68	0.71	0.69	0.70
	K	3.34 öd	3.56	3.09	3.33	3.52	2.27 öd	2.37	2.38	2.33	2.06
	Ca	1.00 öd	1.01	0.98	0.98	1.16	0.57 öd	0.57	0.58	0.46	0.75
	Na	0.14 d**	0.20 bc	0.20 b	0.16 cd	0.25 a	0.19 c**	0.46 a	0.49 a	0.32 b	0.51 a
mg kg ⁻¹	Fe	104 öd	101	110	127	139	3388 öd	3330	3954	3534	3310
	Mn	41.0 b**	50.1 a	50.9 a	50.3 a	57.3 a	95.7 öd	110	121	103	106
	Cu	4.97 öd	5.41	4.79	5.20	5.66	12.5 öd	12.3	12.5	11.5	12.2
	Zn	24.9 öd	25.0	26.2	27.9	31.2	33.6 öd	31.0	34.2	31.3	29.7
	Cd	0.11 öd	0.16	0.16	0.14	0.19	0.39 c**	0.41 bc	0.52 ab	0.41 bc	0.55 a
	Cr	4.76 öd	4.27	5.13	5.17	4.99	19.9 öd	24.9	30.3	27.8	20.4
	Ni	2.04 öd	2.19	2.26	2.58	2.44	53.8 öd	53.8	58.4	51.7	51.3
	Pb	1.83 öd	1.95	1.98	2.00	2.07	4.20 öd	4.10	4.52	4.32	4.03

*. p<0.05, **. p<0.01, öd: önemli değil, KA: kuru ağırlık

Bitki gövdesindeki kuru ağırlık artışı kontrole (8,03 gr s⁻¹) göre Ayvalı (7.96 gr s⁻¹) ve BUSKİ (8.03 gr s⁻¹) ve Penguen (6.89 gr s⁻¹) atıksu uygulamalarında daha düşük bulunurken Nilüfer Çayı suyu ile sulanan uygulama (8.42 gr s⁻¹) kontrole göre daha yüksek bulunmuştur. Uygulamalar arasındaki bu farklılıklar atıksu ile sulama sonucu toprakta meydana gelen tuzluluğun etkisinden kaynaklanmış olabilir. Angin ve ark. (2005) ise tarla koşullarında yapmış oldukları çalışmada lahanaya ve patates bitkilerinde atıksu sulaması ile ilgili olarak ürün miktarının arttığını belirlemişlerdir.

Çalışma kapsamında yetiştirilen mısır bitkisinin gövde ve kök bölgelerindeki besin elementi ve ağır metal içeriğindeki değişimler incelendiğinde; kök ve gövdede N, P, K ve Ca elementlerindeki değişimler önemsiz bulunurken yine kök ve gövdede Na ve Mn içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Uygulamalara bağlı olarak gövdenin N içeriği %2.12 (Kontrol) ile %2.24 (Nilüfer) arasında değişim göstermiştir. Bitkide N içeriği Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değeri altında (<%3.50) bulunmuş ve az olarak değerlendirilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak kök N içeriği %1.55 ile %1.60 arasında değişim göstermiştir.

Mısır bitkisinin uygulamalara bağlı olarak gövde P içeriği %0,71 ile %0.76 arasında değişim göstermiştir. Bu değerler Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerlere göre (<%0.50) fazla olarak değerlendirilmiştir. Mısır bitkisinin kök aksamının P içeriği de yine %0.68 ile %0.71 arasında değişim göstermiştir. Bitkinin K içeriği uygulamalara bağlı olarak, %3.09 ile %3.56 arasında değişim göstermiştir, bu değerler Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerlere göre (%2.50-%4.00) yeterli olarak değerlendirilmiştir. Mısır bitkisinin kök aksamının K içeriği de yine %2.06 ile %2.40 arasında değişim göstermiştir. Bitkinin Ca içeriği uygulamalara bağlı olarak, %0.98 ile %1.16 arasında değişim göstermiştir, bu değerler Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerlere göre (>%0.70) fazla olarak değerlendirilmiştir. Mısır bitkisinin kök aksamının Ca içeriği ise %0.46 ile %0.75 arasında değişim göstermiştir. Uygulamalara bağlı olarak Mısır bitkisinin Na içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve atıksu uygulamalarına bağlı olarak Na içerikleri artış göstermiştir. Kontrol uygulamasına göre gövdede %0.14 ile % 0.25 arasında Na artışı görülürken kökte % 0.19 ile % 0.51 arasında Na artışı belirlenmiştir. Na içeriğindeki en yüksek artış kök ve gövdede Penguen uygulamasında belirlenmiştir. Bitkinin kök Na içeriğinin gövde Na içeriğine göre daha yüksek belirlenmesi mısır bitkisinin natrofobik bitki olması ve aldıkları sodyumu köklerinde biriktirmesinden kaynaklanmaktadır. Bitkilerin Na içerikleri, natrofilik yada natrofobik olmaları ile yakından ilgilidir, özellikle yem bitkileri olarak yetiştirilen bitkilerin Na içeriğinin en az %0.2 olması istenir (Kacar ve Katkat, 2010). Mengel ve ark. (2001) Na alımlarına göre bitkilerin gruplandırmışlar ve mısır bitkisinin çok az Na aldığını belirtmişlerdir.

Mısır bitkisinin mikro element ve kimi ağır metal içeriğindeki değişimler incelendiğinde, uygulamalara bağlı olarak gövde Fe, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni ve Pb içeriğindeki değişimler önemsiz bulunurken Mn içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kök aksamındaki değişimler incelendiğinde ise kök Cd içeriğindeki artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Uygulamalara bağlı olarak bitkinin Fe içeriği kontrol uygulamasında 104 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken, Ayvalı, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında Fe içeriği artış göstermiş sırası ile 110 mg kg⁻¹, 127 mg kg⁻¹ ve 139 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur ancak bu artışlar istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Kökün Fe içeriği ise uygulamalara bağlı olarak

3310 mg kg⁻¹ (Penguen) ile 3954 mg kg⁻¹ (Ayvalı) arasında değişim göstermiştir. Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre bitkinin Fe içeriği (50-250 mg kg⁻¹) yeterli olarak değerlendirilmiştir.

Bitkinin Mn içeriği kontrole göre (41.0 mg kg⁻¹) atıksu uygulamaları ile artış göstermiştir. Mn içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında (57.3 mg kg⁻¹) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile 50.1 mg kg⁻¹, 51.0 mg kg⁻¹ ve 50.3 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bitkinin Mn içeriği Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre (20 mg kg⁻¹ - 300 mg kg⁻¹) yeter düzeyde olarak değerlendirilmiştir. Bitki kök Mn içeriği de atık su uygulamalarına bağlı olarak kontrole göre (95.7 mg kg⁻¹) artış göstermiş ve 103 mg kg⁻¹ ile 121 mg kg⁻¹ arasında belirlenmiştir.

Uygulamalara bağlı olarak bitkinin Cu içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kontrol uygulamasında 4.97 mg kg⁻¹ olan Cu içeriği Nilüfer, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında, sırası ile 5.41 mg kg⁻¹, 5.20 mg kg⁻¹, 5.66 mg kg⁻¹ artış gösterirken Ayvalı uygulaması (4.79 mg kg⁻¹) kontrole göre azalma göstermiştir. Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre (5 mg kg⁻¹ - 20 mg kg⁻¹) Nilüfer, BUSKİ ve Penguen uygulamaları yeter düzeyde Ayvalı uygulaması ise az düzeyde (<5 mg kg⁻¹) olarak değerlendirilmiştir. Bitkinin kök Cu içeriği de atıksu uygulamalarına bağlı olarak 11.5 mg kg⁻¹ ile 12.5 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Bitkinin Zn içeriğindeki değişim kontrole göre (24.9 mg kg⁻¹) atıksu uygulamaları ile artış göstermiştir. Zn içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında (31.2 mg kg⁻¹) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile 25.0 mg kg⁻¹, 26.2 mg kg⁻¹ ve 27.9 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre (20-60 mg kg⁻¹) yeter düzeyde olarak değerlendirilmiştir. Bitkinin kök Zn içeriği de atıksu uygulamalarına bağlı olarak 29.7 mg kg⁻¹ ile 34.2 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir.

Bitkinin Cd içeriğindeki değişim kontrole göre (0.11 mg kg⁻¹) atıksu uygulamaları ile artış göstermiştir. Cd içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında (0.19 mg kg⁻¹) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile 0.16 mg kg⁻¹, 0.16 mg kg⁻¹ ve 0.14 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitkinin kök Cd içeriğindeki değişim, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sulama suyu kaynakları, kontrole göre kökün Cd içeriğini arttırmıştır. Kontrol uygulamasında kök Cd içeriği 0.39 mg kg⁻¹ iken, Nilüfer, Ayvalı, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında sırası ile 0.41 mg kg⁻¹, 0.52 mg kg⁻¹, 0.41 mg kg⁻¹ ve 0.55 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Alloway ve Ayers (1997) tarafından bildirilen toksik sınır değerlerin (5-30 mg kg⁻¹) altında belirlenmiştir. Buna ek olarak Kabata ve Pendias (1992), bitkide Cd yeterlilik sınır değerini 0.05-0.20 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir. Elde olunan sonuçlara göre değerler yeterlilik sınırları içinde kalmasına karşın toksik sınırların altında olarak belirlenmiştir. Topraklarda kadmiyum yayarışılığı büyük ölçüde toprak pH'sına ve öteki katyonların cins ve miktarlarına bağlıdır. Kadmiyum alımını Ca ve Zn engeller. Bitkilerde uzun yol taşınan ağır metallere olan Cd çoğu bitki türlerinde karotenoidlerin ve klorofillerin sentezine olumsuz şekilde etkilediğini bildirmişlerdir (Kacar ve Katkat, 2010). Doğan (2003) şanlıhurlfa'da Karakoyun Deresi atıksuları ile sulanan soğanda Cd içeriğini 5.06- 6.15 mg kg⁻¹ düzeyinde tespit etmiş yani toksik sınırları geğtiğini

belirlemiştir. Sauerbeck (1985) 3 mg kg⁻¹'dan yüksek Cd içeren bitkilerin tüketilmesinin insanlarda kadmiyumun zehir etkisini ortaya çıkardığını bildirmiştir.

Bitkinin Cr içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitkinin Cr içeriği 4.27 mg kg⁻¹ ile 5.17 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Kök Cr içeriği ise kontrol uygulamasına göre atıksu uygulamalarında artış göstermiştir. Kontrol uygulamasında Cr içeriği 19,9 mg kg⁻¹ iken atıksu uygulamalarında 20.4 mg kg⁻¹ ile 30.3 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak bitkide meydana gelen değişimler Alloway ve Ayers (1997) tarafından bildirilen sınır değerlerin altında (5-30 mg kg⁻¹) kalmıştır.

Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak, bitkinin Ni içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitkinin Ni içeriği 2.04 mg kg⁻¹ ile 2.58 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Kök Ni içeriği ise 51.3 mg kg⁻¹ ile 58.4 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Bitkilerde bulunan değerlerde meydana gelen artış, Alloway ve Ayers (1997) tarafından bildirilen sınır değerlerin altında (10 mg kg⁻¹) belirlenmiştir. Bitkilerde gereğinden fazla bulunan nikel klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar. Nikel toksisitesi özellikle kanalizasyon atıklarının fazlaca bulunduğu yörelerde görülür. Toksik kritik Ni düzeyi kuru madde ilkesine göre duyarlı bitkilerde >10 mg kg⁻¹ ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde 50 mg kg⁻¹ olarak saptanmıştır (Bollard, 1983; Asher, 1991).

Bitkinin Pb içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak kontrole göre (1.83 mg kg⁻¹) sulama suyu olarak kullanılan su kaynakları bitkinin Pb içeriğini arttığı gözlemlenmiştir. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak bitki kök Pb içerikleri 4.10 mg kg⁻¹ ile 4.52 mg kg⁻¹ arasında belirlenmiştir. Mısır bitkisinin Pb içeriği Alloway ve Ayers (1997) tarafından bildirilen toksik sınır değerlerin altında (10 mg kg⁻¹) belirlenmiştir. Kabata ve Pendas (1992) ise bitkilerde Pb yeterlilik sınır değerini 0.20-10.0 mg kg⁻¹ arasında olduğunu bildirmiştir. Kurşunun bitkilerdeki zehir etkisinin nedenleri üzerinde bilinenler sınırlıdır. Kurşun bitkilerde çoğu enzimlerin aktivitesini ve metabolik işlevleri olumsuz şekilde etkiler. Kurşun hücre duvarlarında birikir. Bu olgu hücre duvarlarında tutularak kurşunun hücre içine girişini önlemesi yönünden olumlu kabul edilmektedir. (Kacar ve Katkat, 2010)

Ağır metal içeriklerinin uygulamalara bağlı olarak önemsiz çıkması, toprağın kil içeriği ve pH değerine bağlı olarak bitkinin ağır metal alımını sınırlanması ile ilgili olabilir. Manas ve ark. (2009) 3 yıl süre ile atıksu kullanımı sonucunda bitkilerin N, P, Pb ve Al içeriğinin kontrol uygulamasına göre önemli düzeyde arttığını bildirmiştir. Araştırmacılar, atıksuyun sulama suyu kaynağı olabileceğini ancak bitkilerin ağır metal alımı ve patojen mikroorganizma açısından su yönetiminin yapılması gerektiğini ve suyun kısıtlı olduğu dönemlerde damla sulama sisteminin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacı çalışmasında K ve Ca'daki değişimlerin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğunu bildirmiştir. Çalışmada 3 dönem yapılan örneklemelerde bitki Cd ve Ni içeriğinin atıksu uygulamalarında daha yüksek çıktığını Cr, Fe, Mb, Pb ve Zn içeriğinin ise önemsiz bulunduğunu bildirmiştir.

Çalışma kapsamında kök ağır metal içeriklerini toprak üstü ağır metal içeriklerine göre daha yüksek çıkması ile ilgili olarak Jones ve Clement (1972) ağır metallerin kök tarafından alınarak toprak üstü organlara taşınmasında köklerin bariyer görevi görmesi ile açıklamıştır. Kacar ve ark. (2010) kimi bitkilerin farklı mekanizmalarla ağır metallerin bitkide

taşınmasını sınırlandırdığını ve dayanıklılık mekanizmalarına sahip olduklarını bildirmiştir. Jones ve Clement (1972), Smical ve ark. (2008) ve Thapliyal ve ark. (2013) ağır metallerin, bitki organlarında biriktirdiğini ve en çok kök, yaprak, çiçek tomurcukları ve en az meyvede biriktiğini bildirmiştir.

Sonuç

Çalışma kapsamında ele alınan su kaynaklarının toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri genel olarak değerlendirildiğinde toprak pH'sını düşürmesi bitki besin elementlerinin yayılgılığında önemli bir etki olarak görülebilir. Özellikle tuz içeriği yüksek sulama sularının (III ve IV. Sınıf) kullanılmasında bitki tarafından alınım, geriye kalan tuzluluğun etkisi sonucu toprağın ulaştığı tuzluluk değeri önemle göz önünde bulundurulmalıdır. Atıksuların toprakların N, P ve K içeriğinde meydana getirdiği artışlar özellikle gübreleme programları yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır. Sulama suyu kaynaklarına göre toprağın N ve P içeriği 2-3 kat artış göstermektedir, bu artışlar bitki ihtiyacından fazla olduğunda birikim ve yıkanmanın olması özellikle diğer temiz su kaynakları üzerinde bir tehdit unsuru olabilir.

Yapılan çalışmada toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal içeriğindeki artışların göreceli olarak düşük olması, toprağın pH değeri ve kil içeriğinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Özellikle bu tür suların kumlu bünyeli ve düşük pH'ya sahip topraklara uygulanmaması gerektiği bildirilmektedir. Toprak özelliklerine bağlı olarak, ağır metal içeriğindeki değişimin düşük olması, o toprakta yetiştirilen bitkiye taşınımının da sınırlanmasını sağlamakta ve ağır metal miktarları bitkilerde toksik sınır değere kadar yükselmemektedir. Yapılmış olan çalışmada saksı koşullarında bitki ağır metal içeriklerinin sınır değerlerin altında olması çalışmanın kısa süreli olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle ağır metallerin topraktaki yayılgılığında ve bitkiye taşınımının belirlenmesi ile ilgili olarak tarla koşullarında yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmalıdır.

Bursa ili sanayileşme ve kentleşmenin yoğun baskısı altında su kirliliğinin giderek artış gösterdiği bir ilimizdir. İlde belediyelere ait ve çeşitli sanayi bölgelerine ait bir çok arıtma tesisi bulunmaktadır ancak kimi sanayi kuruluşlarının atıksularını arıtmadan, Nilüfer Çayı ve yan kollarına deşarj etmeleri sonucu, Nilüfer Çayı'nın sulama suyu sınıfı dönemsel olarak IV. sınıf su kalitesine kadar düşmektedir. Nilüfer çayının sulama suyu olarak kullanıldığı bölgelerde uzun süredir süregelen kirliliğin etkilerinin belirlenmesi için toprak, su, bitki örneklerinin alındığı geniş kapsamlı bir proje çalışmasının yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Alghobar M.A., Ramachandra L. and S. Suresha. 2014. Effect of sewage water irrigation on soil properties and evaluation of the accumulation of elements in Grass crop in Mysore city, Karnataka, India. American Journal of Environmental Protection. 3(5), 283-291.
- Alloway B.J. and D.C. Ayres. 1997. Chemical Principles of Environmental Pollution, 2nd ed. Chapman and Hall Inc. London, 416 pp.
- Angin İ., Yağanoğlu, A.V. ve M. Turan. 2005. Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties. Journal of Sustainable Agriculture. 26(3), 31-42.

- Anonim 1994. EPA Method 200.7, "Determination of Metals and Trace Metals in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry," http://www.epa.gov/waterscience/methods/method/files/200_7.pdf
- Anonim 2003. The State of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Anonim 2013. Akarçay Havzasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması. <http://www.zafer.org.tr/jdownloads/Raporlar%20%20Strateji%20Belgeleri/akarçay-havzasında-arıtılmış-atıksuların-yeniden-kullanılmasının-arastırılması.pdf> (04.05.2015)
- Anonim 2014. Treated Municipal Wastewater Irrigation Guidelines. EPB:235, Water Security Agency, Kanada
- Atalık, A. 2006. Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri. *Bilim ve Ütopya*. 139: 18-21.
- Ayyıldız, M. 1983. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. A.Ü.Ziraat Fak., Ankara Yay., 79/244
- Belaid N., Neel C., Kallel M., Ayoub T., Ayadi A. and M. Baudu. 2012. Long term effects of treated wastewater irrigation on calcisol fertility: A case study of Sfax-Tunisia. *Agricultural Sciences*. 3: 702-713.
- Bollard E.G. 1983. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. *Encyclopedia of Plant Physiology*, New Series (Lauchli A. and Bielecki R.L., eds), 15B: 695-755. Springer-Verlag, New York.
- Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer for marking mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-437.
- Bremner J.M. 1965. Total Nitrogen. *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Ed.C.A. Black. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 1149-1178.
- Çay Ş. 2013. Konya Kentsel Atıksuların tarımsal sulamada kullanılması ve mısır bitkisi yetiştiriciliğine etkileri. Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.
- Day A.D. and T.C. Tucker. 1977. Effects of treated municipal waste water on growth, fiber, protein, and amino acid content of sorghum grain. *Journal of Environmental Quality*. 6(3):325-327.
- Dağlı H. 2005. İçme suyu kalitesi ve insan sağlığına etkileri. *Bizim İller*. İller Bankası Aylık Yayın Organı, 3: 16-21.
- Doğan M. 2003. Şanlıurfa'da Karakoyun Deresi Atıksuları İle Sulanan Soğanda (*Allium cepa* L.) Toksik Element Birikimi Üzerine Bir Araştırma. *Ekoloji Çevre Dergisi*. 12(48): 1-3.
- Haviland W. A. 2002. Kültürel Antropoloji (Çev: Hüsamettin İnaç, Seda Çiftçi). No: 143. *Sosyoloji Serisi*: 3. İstanbul: Kaknüs Yayınları.
- Horneck D.A. and D. Hanson 1998. Determination of Potassium and Sodium by Flame Emission Spectrophotometry. In: Karla, Y.P (Ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Pres, Washington, D.C. pp:157-164.
- Isaac A.R. and W.C. Johnson. 1998. Elemental Determination by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry. In: Karla, Y.P (Ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Pres, Washington, D.C. pp:165-170.
- Jones J. B. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Pres, Washington, D.C. pp:115-119.
- Jones J. R., Wolf B. and H.A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook*. MicroMacro Publishing, Inc. U.S.A. 213 pp.

- Jones L.H.P., and C. R. Clement. 1972. Lead uptake by plants and its significance for animals. In *Lead in the Environment*, ed. P. Hepple, Essex: Applied Science: 29-33.
- Kabata A. and A.H. Pendias. 1992. *Trace elements in soils and plants*, CRC Press Inc., Florida, 365 pp.
- Kacar ,B. ve A. İnal. 2010. *Bitki Analizleri*. Yayın No:1241, Nobel Yayın Dağıtım, Fen Bilimleri:63, Ankara,
- Kacar B., Katkat A.V. ve Ş. Öztürk. 2010. *Bitki Fizyolojisi*. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, 4. Basım, Ankara, 556 s.
- Kalavrouziotis I.K., Robolas P., Koukoulakis P.H. and A.H. Papadopoulos. 2008. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro and micro-elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. *Italica*, and *B. oleracea* var. *Gemmifera*. *Agricultural Water Management*. 95: 419-426.
- Kocaer F.O. ve H.S. Başkaya. 2004. Bursa İlinde Nilüfer-Ayvalı Deresiyle sulanan ve sulanmayan tarım topraklarının bazı kimyasal özellikleri. *Ekoloji*. 13(51): 33-38.
- Lott W.L., Gallo J.P. and J.C. Meaff. 1956. *Leaf Analysis Technique in Coffe Research*, Ibec. Research Inc. 1-9: 21-24.
- Mañas P., Castro E. and J.D.L. Heras. 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): 1261-1273.
- Mclean E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 199-223.
- Mengel K. And E.A. Kirkby. 2001. *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 849 pp.
- Meneses M., Pasqualino, J.C. and F. Castells. 2010. Environmental assesment of urban wastewater reuse: treatment alternatives and applications. *Chemosphere*, 81: 266-272.
- Meşeli A. 2010. İznik Gölü havzasında çevre sorunları. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*. 14: 134-148.
- Nelson D.W. and L. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Migrobiological Properties*. Agronomy Monograph No.9 (2 nd Ed.) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-579.
- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed: A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 181-196.
- Olsen S., Cole, C., Watanabe, F. And L. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*, 939, US Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Özsoy G. 2001. Uludağ Üniversitesi Kampus alanı Topraklarının Genesisi ve Sınıflandırılması. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Rana L., Dhankhar R. and S. Chhikara. 2010. Soil characteristics affected by long term application of sewage wastewater. *International Journal of Environmental Research*. 4(3): 513- 518.
- Rhoades J.D. 1982. Soluble Salts. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Ed.A.L. Page. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA. pp: 167-178.

- Robarge W.P., Edwards A. and B. Johnson. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14: 1207-1215.
- Sağlam, M.T. 2001. Toprak ve suyun kimyasal analiz yöntemleri. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi yayın No: 189, s.154, Tekirdağ.
- Sauerbeck D. 1985. Funktionen, Güte and Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemi scher Sicht. Kohlhammer, Stuttgart.
- Sharma R.K., Agrawal M. and F. Marshall. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 66: 258-266.
- Shahalam A., Abuzahra B.M. and A. Jaradat. 1998. Wastewater irrigation effect on soil, crop and environmental pilot scale study at Irbid, Jordan. *Water, Air, and Soil Pollution*. 106(3-4): 425-445.
- Smical A., Hotea V., Oros, J. and E. Pop. 2008. Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal*. 7: 609-615.
- Solorzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799-801.
- Thapliyal A., Vasudevan P., Dastidar M.G., Tandon M. and S. Mishra. 2012. Effects of irrigation with domesticwastewater on productivity of green chili and soil status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44: 2327-2343.
- Uyanöz R. 2000. Konya'da sulama suyu olarak kullanılan atıksuların tarım topraklarının bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Vaseghi S., Afyuni M., Shariatmadari H. and M. Mobli. 2005. Effect of sewage sludge on some nutrients concentration and soil chemical properties. *Journal of Isfahan Water and Wastewater*. 53: 15-19
- Watanabe F.S. and S.R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil science Soc. Am. Porc.* 29: 677-678.
- Wolf B. 1971. The determination of boron in soil extractes, plant materials, composts, manures, waters and nutrient solutions. *Soil Science and Plant Analyses*. 2(5): 363-374.