



NİLÜFER ÇAYI VE FARKLI ARITMA TESİSLERİ  
ATIKSULARININ, TOPRAK ÖZELLİKLERİ VE BİTKİ  
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Hasan Fatih AKIN



**T.C.**

**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİLÜFER ÇAYI VE FARKLI ARITMA TESİSLERİ ATIKSULARININ,  
TOPRAK ÖZELLİKLERİ VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE  
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Hasan Fatih AKIN**

Yrd. Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK

(Danışman)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**BURSA – 2015**

## TEZ ONAYI

Hasan Fatih AKIN tarafından hazırlanan “Nilüfer Çayı ve Farklı Arıtma Tesisleri Atıksularının, Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK

**Başkan** : Prof. Dr. A. Vahap KATKAT İmza  
Uludağ Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki  
Besleme Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Yakup ÇIKILI İmza  
Düzce Üniversitesi, Çilimli Meslek Yüksek Okulu  
Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK İmza  
Uludağ Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki  
Besleme Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**

**Enstitü Müdürü**

..../..../....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

28/08/2015

Hasan Fatih AKIN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NİLÜFER ÇAYI VE FARKLI ARITMA TESİSLERİ ATIKSULARININ, TOPRAK ÖZELLİKLERİ VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

**Hasan Fatih AKIN**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Barış Bülent AŞIK

Bu çalışmada Nilüfer Çayı ve Ayvalı Deresi ile BUSKİ ve Penguen 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  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  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 uygulamalara bağlı olarak 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, bitki gelişimi, toprak özellikleri, ağır metal

**2015, ix+59 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DETERMINING THE EFFECTS OF NILUFER RIVER AND DIFFERENT WASTEWATER TREATMENT PLANT'S SEWAGE ON SOIL PROPERTIES AND PLANT GROWING**

**Hasan Fatih AKIN**

Uludağ Üniversitesi

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil Science and Plant Nutrition

**Supervisor:** Asst.Prof.Dr. Barış Bülent AŞIK

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's 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' nitrogen of  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  shows the increasing rates of procurable P, transfusible Na and the K according to the controlled execution. The transfusions in soils' 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:** Wastewater, plant growth, soil properties, heavy metal

**2015, ix+59 pages.**

## TEŐEKKÖR

Öncelikle öğrenim hayatımdaki imkanları ve desteğini benden esirgemeyen aileme, birlikte çalışma Őansı yakaladığım, tezimin tüm aŐamalarında sabrı, emeği, tecrübesi ve bilgisi ile bana olan sonsuz desteği için sayın hocam Yrd. Doç Dr. Barış BÖlent AŞIK'a, Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. A. Vahap KATKAT ve Doç. Dr. Murat Ali TURAN'a, tez çalışmamda emekleri ile bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım AraŐ. Gör. Sencer ÖZTÜFEKŐİ ve AraŐ. Gör. Günsu BARIŐIK'a da sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Hasan Fatih AKIN



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Su Kirliliği ve Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Yönetmelikler....	5
2.2. Atıksuların Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerine İlişkin Yapılmış Çalışmalar .....	11
3. MATERYAL VE METOT .....	17
3.1. Sulama Suyu Örneklerinin Alınması ve Analizleri .....	17
3.2. Su Analizleri .....	20
3.2.1. Reaksiyon (pH) .....	20
3.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC) .....	20
3.2.3. Karbonat (CO <sub>3</sub> ) ve bikarbonat (HCO <sub>3</sub> ) .....	20
3.2.4. Klor (Cl) .....	20
3.2.5. Sülfat (SO <sub>4</sub> ) .....	20
3.2.6. Nitrat (NO <sub>3</sub> ) .....	20
3.2.7. Amonyum (NH <sub>4</sub> ) .....	21
3.2.8. Fosfor (P) .....	21
3.2.9. Bor (B) .....	21
3.2.10. Alkali katyonlar (Na, K, Ca ve Mg) .....	21
3.2.11. Ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe) .....	21
3.2.12. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) .....	21
3.2.13. Sulama Suyu Sınıfı .....	22
3.3. Sera ve İnkübasyon Denemesi .....	22
3.4. Toprak Analizleri .....	23
3.4.1. Mekanik analiz (Tekstür) .....	23
3.4.2. Toprak reaksiyonu (pH) .....	23
3.4.3. Elektriksel iletkenlik (EC) .....	23



3.4.4. Kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) .....	23
3.4.5. Organik karbon (C) .....	23
3.4.6. Toplam azot (N) .....	24
3.4.7. Amonyum ( $\text{NH}_4$ ) ve nitrat ( $\text{NO}_3$ ) .....	24
3.4.8. Alınabilir fosfor (P) .....	24
3.4.9. Alınabilir ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn) .....	24
3.4.10. Toplam ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn) .....	24
3.5 Bitki ve Kök Analizleri .....	26
3.5.1. Azot (N) içeriği .....	26
3.5.2. Fosfor (P) içeriği .....	26
3.5.3. Alkali katyonlar (K, Ca, Mg, Na) .....	26
3.5.4. Ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn) .....	27
3.6. İstatistiksel Analizler .....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	28
4.1. Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi .....	28
4.2. Atıksuların ve Diğer Su Kaynaklarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi ..	29
4.3. Atıksuların ve Diğer Su Kaynaklarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi .....	37
5. SONUÇ .....	49
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
$P<0.01$	Yüzde bir önem seviyesi
$P<0.05$	Yüzde beş önem seviyesi
>	Büyüktür
<	Küçüktür
µg	Mikrogram
µS	MikroSimens
da	Dekar
öd	Önemli değil
kg	Kilogram
g	Gram
ha	Hektar
KA	Kuru ağırlık
mg	Miligram
mL	Mililitre
pH	Hidrojen iyonu konsantasyonu (asitlik derecesi)
EC	Elektiriksel iletkenlik (tuzluluk)
meq	Mili eşdeğer gram
SAR	Sodyum adsorbsiyon Oranı
t	Ton

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
DTPA	Dietilen triamin pentaasetik asit
EDTA	Etilen diamin tetraasetik asit
KDK	Katyon değişim kapasitesi
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi

FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
TUIK	Türkiye İstatistik Kurumu
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü)
KA	Kuru Ağırlık
RSC	Bakiye sodyum karbonat
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
AKM	Askıda katı madde
LSD	En küçük önemli fark
TDS	Total çözünebilir katılar
SSS	Sulama suyu sınıfı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Nilüfer Çayı, 14.06.2014 tarihli görüntü .....	3
Şekil 3.1. Nilüfer Çayı örnekleme noktası .....	17
Şekil 3.2. Ayvalı Deresi örnekleme noktası .....	18
Şekil 3.3. Buski Batı Arıtma Tesisi örnekleme noktası .....	18
Şekil 3.4. Penguen Arıtma Tesisi örnekleme noktası.....	19
Şekil 4.1. Su kaynaklarının deneme toprağının pH ve EC'si üzerine etkisi...	29
Şekil 4.2. Sulama uygulamalarına bağlı olarak toprak organik maddesi, alınabilir P, NH <sub>4</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N miktarlarındaki değişimler.....	31
Şekil 4.3. Sulama uygulamalarına bağlı olarak topraktaki alınabilir Na, K ve Ca miktarındaki değişimler.....	33
Şekil 4.4. Su kaynaklarının toprağın alınabilir ağır metal içerikleri üzerine etkisi .....	36
Şekil 4.5. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök kuru ağırlığındaki değişimler .....	37
Şekil 4.6. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök N içeriğindeki değişimler .....	39
Şekil 4.7. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök P içeriğindeki değişimler .....	39
Şekil 4.8. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök K içeriğindeki değişimler .....	40
Şekil 4.9. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Ca içeriğindeki değişimler .....	40
Şekil 4.10. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Na içeriğindeki değişimler .....	41
Şekil 4.11. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Fe içeriğindeki değişimler .....	42
Şekil 4.12. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Mn içeriğindeki değişimler. ....	43
Şekil 4.13. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cu içeriğindeki değişimler .....	43
Şekil 4.14. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Zn içeriğindeki değişimler .....	44
Şekil 4.15. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cd içeriğindeki değişimler .....	45
Şekil 4.16. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cr içeriğindeki değişimler .....	46
Şekil 4.17. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Ni içeriğindeki değişimler .....	47
Şekil 4.18. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Pb içeriğindeki değişimler .....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Gıda sanayi sektörü (sebze, meyve yıkama ve işleme tesisleri) atıksu deşarj standartları.....	5
Çizelge 2.2. Sulama suyu sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriterleri .....	7
Çizelge 2.3. Sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları .....	8
Çizelge 2.4. Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar .....	9
Çizelge 2.5. Endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu .....	9
Çizelge 2.6. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin bilgiler .....	10
Çizelge 2.7. Topraktaki ağır metal sınır değerleri .....	10
Çizelge 2.8. Atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi için kimyasal özelliklerine ilişkin sınır değerler .....	11
Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan toprakların toprak taksonomisi (1975 ve 1999) ve FAO\Unesco (1974 ve 1990) sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılması .....	22
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan toprağın kimi özellikleri .....	25
Çizelge 4.1. Denemede kullanılan su örneklerinin kimi analizleri .....	28
Çizelge 4.2. Su kaynaklarının toprak özellikleri üzerine etkisi .....	29
Çizelge 4.3. Su kaynaklarının toprak ağır metal içeriği üzerine etkisi .....	34
Çizelge 4.4. Su kaynaklarının mısır bitkisinin gelişimi, bitki besin elementi ve ağır metal içerikleri üzerine etkisi .....	38

## 1. GİRİŞ

Su, dünya üzerindeki yaşamın vazgeçilmez öğelerinden birisidir. Yeryüzünün  $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olması suyun bol olduğu anlamına gelmemektedir ki içilebilir su sadece %0,74 civarındadır. Bu da suyun sınırlı bir kaynak olduğunu göstermektedir (Akın ve Akın 2007).

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).

Hızla artan sanayi oluşumları, içilebilir su kaynaklarının yanı sıra tarımsal üretimde kullanılacak 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).

Son yıllarda hızla gelişen sanayi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kentleşme ve yoğun tarımsal etkinlikler doğal çevreyi etkileyen ve kirleten ana etmenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Su kirliliğine neden olan etmenler genel olarak evsel ve endüstriyel kökenli atıksular şeklinde sınıflandırılabilirse de, su kirlenmesi çok daha karmaşık bir özelliğe sahiptir. Atıksular; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç tür kirlilik göstermektedir. Suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi (renk, koku, tat, bulanıklık, sıcaklık, pH vb.) fiziksel kirliliğe neden olur. Sıcaklık ve pH, nehirler ve göllerdeki bitkisel ve biyolojik hayatı etkileyen önemli parametrelerdendir. Yüksek sıcaklıkta çevreye bırakılan atıksu, karıştığı nehir suyunun sıcaklığını doğal olarak arttırmaktadır. Oksijenin yüksek sıcaklıkta, sudaki çözünürlüğü azalacağından, nehir suyundaki biyolojik oksijen düzeyi, biyolojik hayat için yetersiz kalmaktadır. Aynı zamanda suda birikim gösteren ağır metaller, biyolojik yolla parçalanabilen organik maddeler ve inorganik atıklar suda kimyasal kirliliğe neden olmaktadır. Kimyasal kirlilik, genellikle

sanayi atıklarının arıtılmadan su kaynaklarına verilmesi sonucunda oluşmaktadır. Bazı endüstriyel atıksulardaki parçalanmaya karşı direnç gösteren kirleticilerin alıcı su ortamında birikmesi sonucu, bu kirleticiler canlı yapısına geçmekte ve belli sınırların üstünde canlılar üzerinde doğrudan toksik etki özelliği gösterebilmektedirler. Ayrıca endüstriyel atıksuların sebep olduğu kirlenmelerde ekolojik denge bozulmasına daha çok rastlanmakta ve bu bozulma çoğunlukla geri dönüşü olmayan bir durum ortaya çıkmaktadır.

Çevre sorunlarına yol açmayacak veya minimize edebilecek sanayileşmenin gerçekleştirilmesi ve yatırımların yönlendirilmesi amacıyla ülkemizde Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) modeli uygulanmaktadır (Sarıkaya ve ark. 1996). Hızla gelişen organize sanayi bölgelerinde ortaya çıkan atıksu miktarı gün geçtikçe artmakta ve bunun için de atıksu arıtma tesisleri kurulmaktadır.

Bursa yaklaşık 2.7 milyonluk nüfusu ile Türkiye'nin en büyük endüstri şehirlerinden biridir. Nilüfer Çayı ve kolları Bursa'nın en önemli su kaynağı durumundadır. Nilüfer Çayı, Bursa şehirden geçerek Marmara Denizi'ne dökülmektedir. Bursa bölgesinde Nilüfer Çayı ve kolları genelde sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Havzanın 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.

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 hem sınırlı kaynaklardaki tüketimi azaltmakta hem de çevreye olan olumsuz etkileri aza indirmektedir.

Arıtılmış sular; tarımsal sulama ve arazi sulaması, endüstriyel uygulamalar, çevresel uygulamalar (yüzey sularına verme ve yeraltı sularına reşarj), rekreasyon faaliyetleri,

şehir temizliği, yangın, inşaat gibi klasik uygulamalarda tatlı suların yerine kullanılabilen kaynaklar olarak öne çıkmaktadır (Meneses ve ark. 2010).



**Şekil 1.1.** Nilüfer Çayı, 14.06.2014 tarihli görüntü.

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).

Suyun sulama yönünden elverişliliğinin tayini için en önemli özellikler aşağıda belirtilmiştir (Büyükkamacı 2009, Onbaşı 2007):

- Çözünbilir tuzların toplam konsantrasyonu
- Sodyum ve diğer katyonların nisbi oranı (SAR)
- Bor ve buna benzer toksik elementlerin konsantrasyonu
- Kalsiyum ve magnezyum
- Anyonlar (klor, sülfat, nitrat)
- Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen mikroorganizmaların miktarı



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 kullanımı, (5) kirliliğın azaltılması ve önlenmesine katkı sağlanmış olur (Anonim 2013).

Bu çalışma; Bursa Nilüfer Çayı, Ayvalı Deresi, BUSKİ Batı Arıtma Tesisi ve Penguen A.Ş. Arıtma Tesisi'nden alınan sular ile sera ortamında inkübasyon 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.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Su Kirliliği ve Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Yönetmelikler

Ülkemizde, arıtılmış atıksuların sulamada kullanımı ile ilgili olarak yönetmelikler incelendiğinde; 31.12.2004 tarihinde yayınlanan 25687 Sayılı Resmi Gazete’de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği madde 28’de sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’nde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilmektedir (Anonim 2004). Bu amaçla uygulanacak ön işlemler ve yapılması gereken incelemelerin Teknik Usuller Tebliği’ne göre yapılması gerektiği bildirilmiştir. Bir atıksu kütlesinin bu tür kullanımlara uygunluğu, Valilikçe Çevre ve Orman İl Müdürlüğü, Tarım Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü’nden oluşturulacak komisyon tarafından belirlendiği bildirilmiştir. Yönetmelikte; kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri, sektörlere bağlı olarak alıcı ortama deşarj standartları verilmiştir. Tez çalışması kapsamında, gıda sanayi atıksu arıtma tesisi atıksuyu olarak kullanılmıştır. Gıda sanayi sektörü atıksu deşarj standartları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Gıda sanayi sektörü (sebze, meyve yıkama ve işleme tesisleri) atıksu deşarj standartları

Parametre	Birim	Kompozit Numune	
		2 Saatlik	24 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	(mg l <sup>-1</sup> )	150	100
Askıda Katı Madde	(mg l <sup>-1</sup> )	200	100
pH	-	6-9	6-9

7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Teknik Usulleri Tebliği’nde arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması ve sulama

sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri belirtilmiştir (Anonim 1991).

Yönetmeliğin "Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması" başlıklı yedinci bölümünde yer alan 46. maddede; atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Suyun içindeki çözülmüş 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

Atıksuyun içindeki çözülmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilir, bitkiler tarafından alınabilir veya suda kalabilir olacağı belirtilmiştir. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise; suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özelliklerinde de dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir (Anonim 1991).

Sulamada kullanılan arıtılmış atıksudaki sodyumun sulanan toprakta tutulması sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ile tanımlanır. SAR oranı, suyun sodyum (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Tarımsal sulamada kullanılacak değişik sınıf sular için istenen sulama suyu kalite kriterleri de Çizelge 2.2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Sulama suyu sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriterleri (Anonim 1991)

<b>Sulama Suyu Kalite Kriterleri</b>	<b>1.sınıf (çok iyi)</b>	<b>2. sınıf (iyi)</b>	<b>3. sınıf (kullanılır)</b>	<b>4.sınıf (ihtiyatla kullanılmah)</b>	<b>5.sınıf (zararlı, uygun değil)</b>
EC, $\mu\text{mhos cm}^{-1}$	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
Değişebilen sodyum, % Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	>26	
RSC meq l <sup>-1</sup>	<1,25	1,25-2,5	>2,5		
mg l <sup>-1</sup>	<66	66-133	>133		
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), meq l <sup>-1</sup>	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
mg l <sup>-1</sup>	0-142	142-249	249-426	426-710	>710
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ), meq l <sup>-1</sup>	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
mg l <sup>-1</sup>	0-192	192-336	336-575	576-960	>960
Toplam Tuz Kons. mg l <sup>-1</sup>	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
Bor (B), mg l <sup>-1</sup>	0-0,5	0,5-1,12	1,12-2,0	2,0	
Sulama suyu sınıfı	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub> -C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	
NO <sub>3</sub> veya NH <sub>4</sub> , mg l <sup>-1</sup>	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
Fiz. koliform, 1/100 ml	0-2	2-20	20-10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	>10 <sup>3</sup>
BOİ <sub>5</sub> , mg l <sup>-1</sup>	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM, mg l <sup>-1</sup>	20	30	45	60	>100
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	<6 veya >9
Sıcaklık, °C	30	30	35	40	>40
	<b>Düşük</b>	<b>Orta</b>	<b>Yüksek</b>	<b>Çok Yüksek</b>	
* Na (alkalilik) zararı (S)					
* Tuzluluk zararı (C)	1	2	3	4	
Fiziksel koliform, 1/100 ml					

Sulama sularında izin verilebilecek maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları değişik elementlere göre Çizelge 2.3’de özetlenmiştir (Anonim 1991).

Atıksuların tarımda kullanımı ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar Çizelge 2.4’te, çeşitli endüstrilerde oluşan atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilme şartları Çizelge 2.5’te ve arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağı Çizelge 2.6’da verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Anonim 1991)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg ha <sup>-1</sup>	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler, mg l <sup>-1</sup>	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg l <sup>-1</sup>
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
Flor (F)	920	1,0	15,0
Demir (Fe)	4600	5,0	20,0
Kurşun (Pb)	4600	5,0	10,0
Lityum (Li) <sup>1</sup>	-	2,5	2,5
Mangan (Mn)	920	0,2	10,0
Molibden (Mo)	9	0,01	0,05 <sup>2</sup>
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

<sup>1</sup>Sulanan narenciye için 0,075 mg l<sup>-1</sup>'dir.

<sup>2</sup>Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.

\*Yönetmelikte ilgili tabloda sınır değerler verilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar (Anonim 1991)

<b>Tarım Türü</b>	<b>Teknik Sınırlamalar</b>
Meyvecilik ve Bağcılık	- Yağmurlama metodu ile sulama yasaktır. - Yere düşen meyveler yenmemelidir. - Fekal koliform sayısı 1000/100 mL
Elyafli Bitki ve Tohum Üretimi	- Salma veya yağmurlama sulama yapılabilir. - Yağmurlama sulamada biyolojik olarak artırılmış ve klorlanmış atıksular kullanılabilir. - Fekal koliform 1000/100 mL
Yem Bitkileri, Yağ Bitkileri, Çiğ Yenmeyen Bitkiler ve Çiçekçilik	- Salma sulama, mekanik artırılmış atıksu

**Çizelge 2.5.** Endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu (Anonim 1991)

<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Yakınında uygun arazi varsa, sulama suyu olarak kullanılabilir</b>	<b>Belirli koşullarda sulama suyu olarak kullanıma uygun *</b>	<b>Sulama suyu olarak kullanım için uygun değil</b>
Bira, Malt, Şarap, Patates, Sebze Konserve, Marmelat, Meyve Konserve, Süt, Patates Nişastası Fabrikaları	Maya, Şeker, Pirinç ve Tahıl Nişastası, Deri Tutkalı, Kemik Tutkalı Fabrikaları, Mezbaha, Et Kombina Tesisleri, Tabakhane, Margarin Fabrikası, Kağıt Fabrikası, Karton Fabrikası, Tekstil Sanayii (Ağartma, Merserize, Boyahane, Baskihane v.s.) Yün Yıkama, Balık Unu, Balık Konservesi, Madencilik.	Cila ve Boya Fabrikaları, Sabun Fabrikası, Anorganik Ağır Kimyasal Madde Sanayi; İlaç Fabrikaları, Metal Fabrikası, Sülfite Selüloz Fabrikası, Viskoza Suni İpek Fabrikası, Piroliz Tesisleri, Havagazı Tesisleri Jeneratör Gaz Türbinleri, Madeni Yağ Sanayi, Kömür Yıkama, Dinamit Sanayi, Odun Koklaşırma Tesisleri.
<i>* Bu endüstrilerin atıksularının Çizelge 2.2 ve 2.3'teki değerlere kadar artırılması durumunda</i>		

**Çizelge 2.6.** Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin bilgiler

	Tarla		Çayır-Mera		Sebze		Yem Bitkisi		Meyvecilik		Koru Ormanlık
	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BB	
Biyolojik arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çökeltim havuzu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Aerobik stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+

BY: Bitki Yok BV: Bitki Var (-) işaret suyun kullanılmayacağını, (+) işaret ise kullanılabileceğini gösterir.

Ülkemizde, alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi, arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını ele alan yönetmelikler incelendiğinde; 31.05.2005 tarihinde yayınlanan 25831 Sayılı Resmi Gazete’de yer alan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nin eklerinde yer alan toprak ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.7’de verilmiştir (Anonim 2005).

**Çizelge 2.7.** Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim 2005)

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

\* pH değeri 7’den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yeraltı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50’ye kadar artırabilir.

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

## 2.2. Atıksuların Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerine İlişkin Yapılmış Çalışmalar

Schutte (1982) tarafından belirtildiğine göre, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Akdeniz ülkelerinde tüketilen suyun % 70-90'ı sulama amaçlı kullanılmaktadır. Su sıkıntısı ve ihtiyacın artması nedeniyle arıtılmış atıksularla sulama, bu ülkelerde su kaynaklarının planlanması ve geliştirilmesinde önem sahibi bir durum haline gelmiştir.

Fiedler (1990), atıksuların sulama amaçlı kullanılması durumundaki sınır değerleri Çizelge 2.8'deki şekilde bildirmiştir. Bunlardan 1. ve 2. sınıf atıksuların hiçbir sınırlama getirilmeden seralar ve açık alan topraklar için kullanılabilirliğini, 3. ve 5. sınıf atıksuların ise bazı sınırlamalarla kullanılabilirliğini belirtmiştir.

**Çizelge 2.8.** Atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi için kimyasal özelliklerine ilişkin sınır değerler ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (Fiedler 1990)

İçerdiği elementler $\text{mg l}^{-1}$	En yüksek değerler				
	Suların nitelik sınıfları				
	1	2	3	4	5
Potasyum, K	100	250	350	500	600
Magnezyum, Mg	125	300	450	600	700
Sodyum, Na	150	300	400	500	700
Bikarbonat, $\text{HCO}_3$	150	300	700	1000	1500
Klorür, Cl	150	400	800	1200	2000
Nitrat, $\text{NO}_3$	150	300	450	500	1000
Sülfat, $\text{SO}_4$	180	600	1200	1800	2700
Arsenik, As	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kurşun, Pb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kadmiyum, Cd	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Krom, Cr	0,5	0,5	0,5	0,75	1,0
Kobalt, Co	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Demir, Fe	1,0	10,0	20,0	50,0	100,0
Bakır, Cu	0,5	0,5	0,5	0,75	1,0
Mangan, Mn	0,5	2,0	5,0	7,5	10,0
Nikel, Ni	0,2	0,2	0,5	0,75	1,0
Civa, Hg	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01
Çinko, Zn	3,0	3,0	3,0	4,5	6,0
Bor, B	0,5	0,5	0,5	0,75	1,0
Siyanür, CN	0,3	0,4	0,5	2,0	5,0
Deterjan	1,0	20,0	50,0	150,0	150,0
Monofenol	0,1	0,5	1,0	5,0	150,0
Total fenoller	0,1	1,0	10,0	100	250
$\text{BOI}_5$	10	20,0	100	2000	5000
pH	6,8-8,0	5,5-8,0	5,0-8,0	5,0-8,5	4,5-9,0
EC, $\mu\text{s cm}^{-1}$	450	1500	3000	4500	6000
Toplam tuz, $\text{mg l}^{-1}$	300	1000	2000	3000	4500



Aşık ve ark. (1997), dünyada ve ülkemizde meydana gelen kuraklıklar nedeniyle, özellikle tarımsal sulamada, iyi nitelikli suların kullanılması yerine alternatif su kaynaklarının devreye sokulmasının son derece önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Alternatif su kaynaklarının başında arıtılmış atıksuların geldiğini bildirmişlerdir.

Güneş ve ark. (2000)'e göre, atıksuların tarımda yeniden kullanımı iki şekilde mümkün olabilmektedir; (1) doğrudan kullanım yani atıksuların arıtılarak planlı bir şekilde su dağıtım kanallarına verilmesi, (2) dolaylı kullanım yani atıksuların arıtılarak yüzey su kaynaklarına karıştırılması ve buradan sulama için alınması ve atıksuların hiç arıtılmadan deşarj edilmesidir. Gelişmiş ülkelerde, özellikle su kaynakları kıt olan bölgelerde, atıksular arıtıldıktan sonra tarımda ve peyzaj alanlarında kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde atıksular, serbest yüzeyli, olarak kilometrelerce uzaklığa kanallarla iletildikten sonra doğrudan tarım alanlarına verilmektedir.

Doğan (2003), evsel ve sanayi atıksuları ile kirlenen Şanlıurfa/Karakoyun deresinden alınan su ile sulanan soğanda toksik element birikimi ve bu birikim üzerine gübrelemenin etkisini araştırmıştır. Bu araştırma sonucunda, bitkiye önemli miktarda toksik element geçtiği saptanmıştır. Kadmiyum ( $5.06-6.15 \mu\text{g g}^{-1}$  kuru ağırlık) dışındaki toksik element değerleri normal seviyede olduğu bildirilmiştir. Bu değerlerdeki Cd elementinin insan sağlığı açısından riskli olduğu belirtilmiştir.

Kocaer ve Başkaya (2004) tarafından yapılan çalışmada; Nilüfer-Ayvalı Deresi'nden alınan sularla sulanan ve sulanmayan iki tarım toprağında belirlenen kimyasal parametreler kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlarda; dere suyu ile yapılan sulamanın toprakta EC değerini ve serbest değişebilir katyon konsantrasyonlarını önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir. Dere suyu ile sulanan toprağın üst katmanlarındaki organik madde ve bazı makro bitki besin maddelerinin miktarlarının arttığı, organik maddenin muhtemelen değişik yapıdaki bileşiklerden oluştuğunun ekstinksiyon oranı değerlerinden anlaşıldığı bildirilmiştir.

Toze (2006)'ye göre, küresel iklim değişiminin etkisi üzerine yakın gelecekte su kaynakları üzerinde bir rekabet oluşacaktır. Hayat için en önemli faktörlerden biri olan

su miktarı ve kaynakları giderek azalmakta olup, arıtılmış suların yeniden kullanılması çözümler arasındadır. Atıksuların arıtılmadan, denetimden geçmeden doğrudan sulamada kullanılması önerilmemektedir. Araştırmacı; arıtılmış suların ise sağlık açısından sakıncasını ortadan kaldırmak için belirli standartlar getirilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Sharma ve ark. (2007); atıksu sulama kaynakları ile sulanan topraklarda ağır metal birikimini incelemişlerdir. Hindistan'da tüketimi yüksek olan pancar bitkisi kullanılarak 3 büyük alandan yaz ve kış dönemlerinde alınan yenilebilir kısım örneklerinde Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Mn ve Ni analizleri yapılmıştır. Kurşun ve nikel, yaz ve kış mevsimlerinde bitkinin yenilebilir kısmında izin verilen değerlerin üzerinde iken; kadmiyumun Ocak ayından itibaren maksimum değerlerin üzerine çıktığını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda, atıksu ile sulanan topraklarda, uzun vadede biriken Cd, Pb ve Ni potansiyel sağlık riski oluşturduğu belirtilmiş olup; toprakta oluşan kirliliğin güvenli besin üretimi konusuna olumsuz etkisine değinilmiştir.

Gwenzi ve Munondo (2008); azalan tatlı su kaynakları ve atıksuyun bertarafı için, gelişmekte olan ülkelerde atıksu kullanımına yönelim olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada; 26 yıl boyunca atıksu ile sulanan kumlu topraklardaki besin elementi durumunu araştırmışlardır. Atıksularla sulanan topraklarda 0-30 cm derinlikte yüksek ölçüde pH, EC, organik madde, toplam ve alınabilir azot ve fosfor, belirgin olarak Ca ve Mg saptamışlardır. Krom birikimi görülmüş ancak Zn, Cu ve Cd azalmış, bunun sebebi olarak ise toprak asitliği vesilesi ile oluşan mobilite ve bitki tarafından alınmış olabileceği düşünülmüştür. Bu durumun atıksularla sulama uygulamasının sürdürülebilirliğini tehdit etmekte olduğu bildirilmiştir. Atıksularla sulama uygulamasının, atıksu kalitesi ve çevresel hususlara bağlı olarak yönetilip uygulanması gerektiği önerilmiştir.

Angin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, uzun vadeli atıksu sulama uygulaması ile topraklarda meydana gelen bitki besin elementi değişimlerini incelemişlerdir. Uygulamalar sonucunda toprakta EC değerinde artma ve pH değerinde azalma olduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra organik madde, Azot (N), önemli

katyonlar ve ağır metallerde artışlar gözlemlendiği belirtilmiştir. Denemede kullanılan lahana ve patates bitkilerinde N, P, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo ve Cd artışı olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar; atıksuyun, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek için potansiyel bir besin kaynağı olabileceğini, bitki gelişiminde gübre uygulama oranlarını düşürmek ve düşük verimli toprakların verimliliğini arttırabilmek adına yüksek besleyici değere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu konudaki dezavantajın topraklardaki hareketsiz ağır metallerin birikmesi olduğunu ve kullanılmadan önce kalıntı etkilerinin bilinmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Kalavrouziotis ve ark. (2008) tarafından sera koşullarında yapılan çalışmada, belediyenin atıksu tesisinden alınan su ve sulama suyu ile brokoli ve brüksel lahanası yetiştirilmiştir. Deneme sonucunda; atıksu ile sulanan grubun, kontrol grubuna göre makro ve mikro element içeriklerinin arttığı belirtilmiştir. Atıksu ile sulanan ve brokoli yetiştirilen topraklarda; P 18.36–41.16 mg kg<sup>-1</sup>, Zn 3.61–4.64 mg kg<sup>-1</sup> ve Cd 0.065–1.20 mg kg<sup>-1</sup> arasında artış göstermiş olduğu, bunun yanı sıra brüksel lahanası yetiştirilen topraklarda P 20.6–36.32 mg kg<sup>-1</sup>, Zn 2.87–4.83 mg kg<sup>-1</sup> ve Cd 0.06–1.45 mg kg<sup>-1</sup> arasında bir artış göstermiş olduğu bildirilmiştir. Bu artışların atıksu uygulamalarının toprakta kalıntı bıraktığı ile ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda bitki köklerinde de ağır metallerin biriktiği bildirilmiştir. Brüksel lahanasında Cd 0.0083-0.78 µg g<sup>-1</sup>, Co 0.029 - 3.38 µg g<sup>-1</sup>, Ni 4.83 - 7.27 µg g<sup>-1</sup> arasında, brokolide ise Ni 4.20 - 10.13 µg g<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca atıksu ile sulanan brokoli köklerinde Fe, 379.5 - 1022.0 mg kg<sup>-1</sup> arası birikim görüldüğü belirtilmiştir. Araştırmacılar, bitkilerin yenilebilir kısımlarında da ağır metal birikimi olduğunu belirlemişlerdir. Brokolide Ni 3.91 - 4.15 µg g<sup>-1</sup>, Pb 9.82 - 10.40 µg g<sup>-1</sup>, brüksel lahanasında Cd 0.8 - 1.17 µg g<sup>-1</sup>, Co 2.35 - 2.70 µg g<sup>-1</sup> ve Ni 5.70 - 6.17 µg g<sup>-1</sup> arası değişim gösterdiği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Mañas ve ark. (2009), atıksu ile sulanan toprak ve bitkiler üzerinde atıksuyun sürekli kullanımında ortaya çıkabilecek etkileri değerlendirmek ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilerini incelemek amacı ile bir çalışma yapmışlardır. 3 yıl süren çalışmada, marul yetiştirilerek içme suyu ve arıtılmış atıksu ile sulama yapılmıştır. Araştırmacılar, atıksu ile sulanan topraklarda, organik madde, N, P, Ca, Al, Fe, Pb ve Zn

parametrelerinde yüksek bir etki gördüklerini bildirmişlerdir. Ayrıca atıksu ile sulanan topraklarda patojen mikroorganizmaların, nemli koşullarda 27 gün boyunca toprakta kalıcı olduğu belirtilmiştir. 3 yılın sonunda atıksu ile sulanan topraklarda belirgin bir N, P, Pb ve Al artışı olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, atıksuyun alternatif bir sulama kaynağı olabileceğini ama ağır metal ile patojenik organizmalar varlığı göz önüne alınarak daha dikkatli kullanılması gerektiğini bildirmişler ve sınırlı bir sulama dönemi ile atıksuyun dezenfekte edilerek kullanılmasını önermişlerdir.

Mojiri (2011), atıksuyun kullanımının sulama suyu yetersizliği açısından önemli olabileceğini bildirmiştir. Yapılan çalışmada, atıksu ile sulanan topraklarda EC, P, organik madde, toplam N, K, Na, Cl, Fe, Cd ve Zn artışı olduğunu, bunun yanı sıra pH değerinde de bir düşüş olduğunu bildirmiştir.

Masona ve ark. (2011) tarafından atıksularla mısır bitkisi yetiştirilerek yapılan çalışmada, ağır metal içeriğinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Sıradan sulama suyu ile sulanan topraklarda 5,0 olan pH değeri, atıksu ile sulananlarda 5,6 olarak saptanmıştır.

Ladwani ve ark. (2012), artan nüfusun tatlı su ihtiyacını arttırması ile birlikte atıksu oranını da artmış olup, arıtılmış veya geri dönüştürülmüş atıksuyun bu durumda tek su kaynağı gibi görüldüğünü ve atıksuyun tarımda kullanılması ihtiyacının buradan ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada; buğday bitkisinin, yeraltı ve evsel atıksu ile sulandığı, evsel atıksu kullanımı ve yeraltı suyu uygulaması karşılaştırıldığında; besin durumu ile birlikte verim ve toprağın fizikokimyasal özelliklerinde gelişme gösterdiği rapor edilmiştir. Sonuçlara göre; atıksuyun toprak verimliliği ve mahsul büyümesinde olumlu etki gösterdiği belirtilmiş ve evsel atıksu kullanımı tavsiye edilmiştir.

Belaid ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada; 15 yıl boyunca atıksularla sulanan, yarı kurak bir iklime sahip ve kireçli topraklarda 3 farklı derinlikten (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm) örnekler alarak analiz yapmışlardır. Toprak pH değeri, katyon değişim kapasitesi, değişebilir katyonlar, nitrat ve amonyum, azot, fosfor ve gerekli makro ve mikro besin elementleri, elektriksel iletkenlik, toprak organik karbonu toplam içeriği ve

çözünmüş organik karbon gibi bir çok parametrenin ele alındığı çalışma sonucunda; arıtılmış atıksularla sulanan topraklarda organik karbon (%100), fosfor (%80), N, Mn ve Zn artışları gözlenmiştir. Bunun yanı sıra toprak tuzluluğunda önemli artışlar görüldüğü ve alınabilir besin maddelerinin alınımına engel olduğu belirtilmiştir. Atıksuların uzun vadede kullanımının bitki üretimini riske attığı, yeraltı sularının kirlenmesi ve toprak verimliliğini tehlikeye soktuğu bildirilmiştir.

Khaskhoussy ve ark. (2013), tarafından arazi şartlarında ve arıtılmış atıksu ile sulanarak yetiştirilen mısır (*Zea mays*) bitkisi üzerinde yapılan çalışmada; toksik elementlerin izleri ve tuzlanma etkileri görüldüğü bildirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toprakta önemli ölçüde EC artışı, Na, Cl, Ca, Mg gibi elementler ve gübreleme olarak verilen N, P ve K miktarlarında artış, ağır metaller olan Cu, Zn, Co, Cd, Pb ve Ni miktarlarında da ciddi bir artış gözleendiği, bunun yanı sıra toprak pH değerinde de önemli ölçüde bir düşüş gözleendiği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; atıksularla yapılan sulamalarda, toprakta tuzluluk artışı ve bitkide ağır metal birikimi görüldüğü bildirilmiştir.

Kudal ve Müftüoğlu (2014), arıtılmış kentsel atıksu ile sulanan ve sulanmayan tarım alanlarındaki bazı toprak verimlilik özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmada; alınan toprak örneklerinde yapılan analizler sonucu olarak; toprak reaksiyonunda azalma meydana geldiği, toprağın suda eriyebilir tuz ve karbonat miktarlarında ise artışlar olduğu bildirilmiştir. Topraktaki organik karbonun arttığı fakat azot değerinin azaldığı ve bununla birlikte C/N oranının arttığı saptanmıştır. Ayrıca atıksu ile sulanan alanlardaki alınabilir fosfor değerlerinde önemli artışlar görüldüğü bildirilmiştir.

Alghobar ve ark. (2014) kanalizasyon suyu, işlenmiş kanalizasyon suyu ve kontrol olarak yeraltı suyu ile sulanan çim bitkisi ekilmiş topraklarda yaptığı çalışmada; atıksular ile sulanan toprakların yeraltı suyuna göre toprak pH değerinde önemli bir azalma, önemli miktarlarda Ca, Na, N, P, K ve SO<sub>4</sub> artışı ve ağır metallerde (Fe, Mn, Cu, Zn ve Pb) önemli artışlar olduğunu rapor etmişlerdir.

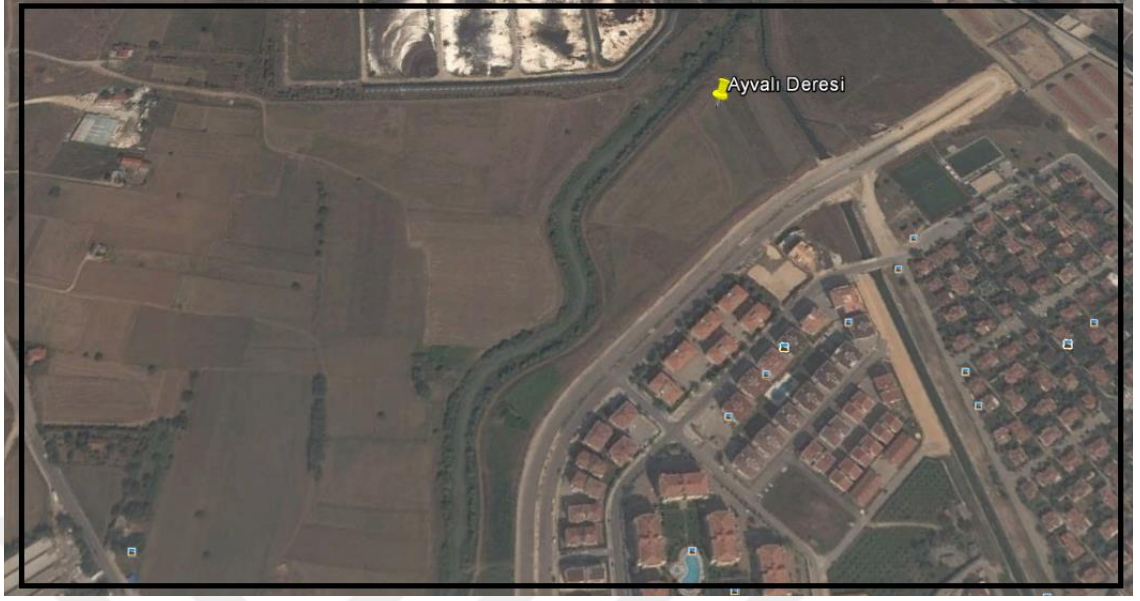
### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Sulama Suyu Örneklerinin Alınması ve Analizleri

Tez çalışması kapsamında öncelikle denemede kullanılacak su örneklerinin sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla Nilüfer Çayı Yolçatı noktasından (Şekil 3.1), Ayvalı Deresi'nden (Şekil 3.2), BUSKİ Batı Atıksu Arıtma Tesisi (Şekil 3.3) ve Penguen Gıda Atıksu Arıtma Tesisleri'nden (Şekil 3.4) su örnekleri alınmıştır. Denemede kontrol amaçlı olarak çeşme suyu kullanılmıştır. Penguen Gıda Atıksu Tesisi'nin atıksu kapasitesi  $5500 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$ 'dür. Arıtma tesisinin tipi tek kademeli biyolojik arıtmadır. Arıtma tesisinden ortaya çıkan atıksular hemen yakında bulunan Hasanağa Deresi'ne deşarj edilmektedir. Çalışmada kullanılacak su örnekleri tesisin deşarj noktasından alınmıştır. BUSKİ Batı Atıksu Arıtma Tesisi, kentin batı havzasındaki evsel atıksuların arıtılması amacıyla Özlüce mevkiinde, yaklaşık olarak 650.000 eşdeğer nüfusa hitap edecek şekilde,  $100.000 \text{ m}^2$ 'lik bir alanda kurulmuş, ortalama proje debisi 2017 yılı için  $87.500 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$  ve 2030 yılı için  $175.000 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$  evsel atıksuyun arıtılmasına hizmet edecek kapasitede iki aşamalı projelendirilmiştir. İleri biyolojik arıtma süreçlerinin uygulandığı tesislerde, azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.1. Nilüfer Çayı örnekleme noktası



Şekil 3.2. Ayvalı Deresi örnekleme noktası



Şekil 3.3. BUSKİ Batı Arıtma Tesisi örnekleme noktası



**Şekil 3.4.** Penguen Arıtma Tesisi örnekleme noktası



## **3.2. Su Analizleri**

### **3.2.1. Reaksiyon (pH)**

Su örneklerinin pH değeri, 720 A model pH metre ile belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC)**

Su örneklerinin elektriksel iletkenliği, WTW LF 92 Model kondaktivite metre ile belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.3. Karbonat (CO<sub>3</sub>) ve bikarbonat (HCO<sub>3</sub>)**

Su örneklerindeki CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> miktarı, fenolftaleyn ve bromkrosel yeşili indikatörleri kullanılarak sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ile titrimetrik olarak belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.4. Klor (Cl)**

Su örneklerinde klor miktarı, gümüş nitrat (AgNO<sub>3</sub>) çözeltisi ile titrimetrik olarak belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.5. Sülfat (SO<sub>4</sub>)**

Su örneklerinin sülfat miktarı, baryum klorür (BaCl<sub>2</sub>) ilavesi ile çökme esasına göre türbidimetrik olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.6. Nitrat (NO<sub>3</sub>)**

Su örneklerinin nitrat miktarı, salisilik asitin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak kolorimetrik olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Robarge ve ark. 1983).

### **3.2.7. Amonyum (NH<sub>4</sub>)**

Su örneklerinin amonyum miktarı, indofenol mavisi yöntemi ile kolorimetrik olarak olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Solorzano 1969).

### **3.2.8. Fosfor (P)**

Su örneklerinin fosfor miktarı, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre kolorimetrik olarak olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Olsen ve ark. 1954).

### **3.2.9. Bor (B)**

Su örneklerinin bor miktarı, Azomethin-H yöntemine göre kolorimetrik olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Wolf 1971).

### **3.2.10. Alkali katyonlar (Na, K, Ca ve Mg)**

Su örneklerinde Na ve K, Ependorf Elex 6361 marka fleymfotometre ile Ca ve Mg ise etilen diamin tetraasetik asit (EDTA) ile titrimetrik olarak belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### **3.2.11. Ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe)**

Su örneklerinin ağır metal miktarları, HNO<sub>3</sub> ilave edildikten sonra direkt olarak ICP OES ile belirlenmiştir

### **3.2.12. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)**

Suların sodyum adsorbsiyon oranı hesaplama yolu ile bulunmuştur (Ayyıldız 1983).

### 3.2.13. Sulama suyu sınıfı

Örneklerin sulama suyu sınıfı; toplam tuz konsantrasyonu, tuz zararı ve sodyum adsorbsiyon oranı ve muhtemel sodyum zararının göz önüne alındığı grafik yardımıyla belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

### 3.3. Sera ve İnkübasyon Denemesi

Atıksuların toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla sera koşullarında iki farklı deneme kurulmuş (5 Haziran 2014 İnkübasyon Denemesi - 25 Temmuz 2014 – Sera Denemesi) ve yürütülmüştür. Bursa bölgesinde yoğun olarak tarım yapılan büyük toprak grubunun Toprak Taksonomisine göre sınıflandırılması Özsoy (2001) tarafından yapılmıştır (Çizelge 3.1). Toprakların kimi özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çalışma Kapsamında Kullanılan Toprakların Toprak Taksonomisi (1975 ve 1999) ve FAO\Unesco (1974 ve 1990) Sınıflandırma Sistemlerine Göre Sınıflandırılması

Ordo	Alt Ordo	Büyük Grup	Alt Grup	Fao/Unesco	Toprak Serisi
Vertisol	Xerert	Haploxerert	Typic Haploxerert	Eutric Vertisol	Çiftlik

Bitki yetiştirme denemesinde atıksuların bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla mısır bitkisi kullanılmıştır. 4 kg toprak alan saksılara 6 adet mısır tohumu ekilmiş ve çıkış sonrası 2 adet mısıra seyreltilerek 35 günlük gelişim periyodu sonunda toprak seviyesinden hasat edilmiştir. Bitki yetiştirme denemesinde bitki toprak üstü ve toprak altı aksamı (kök) ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

İnkübasyon denemesinde 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 deneme sonunda saksılar paçal hale getirilerek

örnekleme yapılmıştır. İnkübasyon denemesinde deneme başlangıcı ve deneme sonunda toprakta meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir.

### **3.4. Toprak Analizleri**

Sera çalışmasında kullanılan topraktan deneme başlangıcında ve sonunda toprak örnekleri alınarak aşağıdaki analizler yapılmıştır.

#### **3.4.1. Mekanik analiz (Tekstür)**

Toprak örneğinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde Hidrometre yöntemine göre, tekstür sınıfları ise Soil Survey Manual'e göre belirlenmiştir. (Soil Survey Staff, 1951)

#### **3.4.2. Toprak reaksiyonu (pH)**

Toprak örneğinin pH değerleri, saf su ile 1:1 oranında sulandırılmış toprak örneğinde Orion 720A model pH/iyonmetresi ile belirlenmiştir (Mclean 1982).

#### **3.4.3. Elektriksel iletkenlik (EC)**

Toprak örneğinin elektriksel iletkenlik değeri, doygunluk çamuru ekstraktında WTW LF 92 model EC-metre ile ölçülerek belirlenmiştir (Rhoades 1982).

#### **3.4.4. Kireç (CaCO<sub>3</sub>)**

Toprak örneğinin kireç miktarı, Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Nelson 1982).

#### **3.4.5. Organik karbon (C)**

Organik karbon miktarı Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir (Nelson ve Sommers 1982).

#### **3.4.6. Toplam azot (N)**

Toprak örneğinin toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Gerhardt Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Nelson ve Sommer 1982).

#### **3.4.7. Amonyum (NH<sub>4</sub>) ve nitrat (NO<sub>3</sub>)**

2 molar KCl çözeltisi ile ekstraksiyon sonucu elde olunan amonyum, indofenol mavisi yöntemi ile (Solorzano 1969), nitrat salisilik asidin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak kolorimetrik olarak PG-T60 marka spektrofotometre ile belirlenmiştir (Robarge ve ark 1983).

#### **3.4.8. Alınabilir fosfor (P)**

Toprak örneğinin bitkiye alınabilir fosfor içeriği 0.5 M sodyum bikarbonat (pH 8.5) ile ekstrakte edilmesi sonucu elde edilen süzükte askorbik asit yöntemi ile belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen 1965)

#### **3.4.9. Alınabilir ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn)**

Toprağın 0.005 M DTPA + 0.01 M CaCl<sub>2</sub> + 0.1 M TEA pH: 7.3 çözeltisi ile ekstrakte edilmesi sonucunda elde edilen süzükte Perkin Elmer OPTIMA 2100DV model ICP'de belirlenmiştir (Jones 2001).

#### **3.4.10. Toplam ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn)**

Mikrodalga fırında (Berghof MWS 2) HNO<sub>3</sub> + HCl karışımı ile yağ yakılan örneklerde Perkin Elmer OPTIMA 2100DV model ICP'de belirlenmiştir (Kacar 2012).

**Çizelge 3.2.** Çalışmada kullanılan toprağın kimi özellikleri

<b>Özellikler</b>	<b>Miktar</b>
Kum, %	35,08
Silt, %	16,67
Kil, %	48,25
Tekstür	Kil
pH	7,79
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	260,00
Kireç, %	0,39
Org.mad., %	1,76
N, %	0,137
$\text{NH}_4\text{-N}$ , $\text{mg kg}^{-1}$	5,42
$\text{NO}_3\text{-N}$ , $\text{mg kg}^{-1}$	0,95
Alınabilir P, $\text{mg kg}^{-1}$	20,18
Alınabilir Na, $\text{g kg}^{-1}$	0,112
Alınabilir K, $\text{g kg}^{-1}$	0,454
Alınabilir Ca, $\text{g kg}^{-1}$	6,640
Alınabilir Mg, $\text{g kg}^{-1}$	0,920
Toplam Pb, $\text{mg kg}^{-1}$	iz
Toplam Cd, $\text{mg kg}^{-1}$	0,206
Toplam Cr, $\text{mg kg}^{-1}$	142,0
Toplam Ni, $\text{mg kg}^{-1}$	158,8
Toplam Cu, $\text{mg kg}^{-1}$	22,88
Toplam Zn, $\text{mg kg}^{-1}$	65,90
Toplam Mn, $\text{mg kg}^{-1}$	55,97
DTPA eks Cd $\text{mg kg}^{-1}$	0,036
DTPA eks Cr, $\text{mg kg}^{-1}$	0,013
DTPA eks Ni, $\text{mg kg}^{-1}$	3,350
DTPA eks Cu, $\text{mg kg}^{-1}$	2,925
DTPA eks Zn, $\text{mg kg}^{-1}$	0,674
DTPA eks Mn, $\text{mg kg}^{-1}$	10,52
DTPA eks Fe, $\text{mg kg}^{-1}$	11,34

Çalışmanın yapıldığı toprak kil bünyeli, pH açısından hafif alkali, EC değeri açısından tuzsuz, kireç kapsamı açısından az kireçli, organik maddesi az, azot ve fosfor içeriği yönünden yeterli, potasyum açısından ise fazla özellik göstermektedir. Mikro elementler yönünden mangan ve çinko içeriği az, demir içeriği fazla, bakır içeriği yeterli bulunmuştur (FAO 1990).

Çalışmanın yürütüldüğü toprak, toplam ağır metaller açısından değerlendirildiğinde kurşun, kadmiyum, bakır ve çinko açısından toprak kirliliği kontrolü yönetmeliğindeki (Anonim 2005) sınır değerlerin altında bulunurken, toplam krom ve nikel içeriği yönetmelikteki sınır değerlerinin üstünde bulunmuştur.

### **3.5 Bitki ve Kök Analizleri**

Çalışma kapsamında yürütülen bitki yetiştirme denemesi, bitki çıkışından 35 gün sonra toprak seviyesinden kesilerek hasat edilmiştir. Bitkinin toprak üstü ve kök bölümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Örnekler önce eşme suyunda yıkanarak iki kez saf sudan geçirilmiş 65 °C'deki havalı kurutma dolabında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan rnekler bitki öğütme değirmeninde ğtlerek homojen bir karışım halinde analize hazır duruma getirilmiştir (Kacar ve İnal 2010).

#### **3.5.1. Azot (N) içeriği**

Bitki örneklerinde toplam azot, modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Gerhardt Buchi K-437 yakma blokunda yakılan rnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremmer 1965).

#### **3.5.2. Fosfor (P) içeriği**

Mikrodalga fırında (Berghof MWS 2) nitrik asit ve hidrojen peroksit ile yaş yakılan örneklerden elde edilen szklerde fosfor, vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre (Lott ve ark. 1956) PG T60 model spektrofotometrede belirlenmiştir.

#### **3.5.3. Alkali katyonlar (K, Ca, Mg, Na)**

Mikrodalga fırında (Berghof MWS 2) nitrik asit ve hidrojen peroksit ile yaş yakılan bitki örneklerinden elde edilen çözeltide potasyum, kalsiyum ve sodyum Ependorf Elex 6361 flame fotometresinde (Horneck ve Hanson 1998), magnezyum ise Perkin Elmer OPTIMA 2100DV model ICP OES ile belirlenmiştir.

#### **3.5.4. Ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu ve Zn)**

Mikrodalga fırında (Berghof MWS 2) nitrik asit ve hidrojen peroksit ile yaş yakılan bitki örneklerinden elde edilen çözeltilerde Perkin Elmer OPTIMA 2100DV model ICP OES ile belirlenmiştir (Isaac ve Johnson 1998).

#### **3.6. İstatistiksel Analizler**

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



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla Nilüfer Çayı Yolçatı noktasından (Nilüfer), Ayvalı Deresi'nden (Ayvalı), BUSKİ Batı Atıksu Arıtma Tesisi (BUSKİ) ve Penguen Gıda Atıksu Arıtma Tesisleri'nden (Penguen) su ve atıksu örneklerinde yapılan kimi analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Denemede kullanılan su örneklerinin kimi analizleri

Özellik	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen	Kontrol	Sınır Değer**
pH	7,12-7,74	7,68-7,87	7,31-7,45	7,25-7,30	7,75-8,01	6,5-9
EC, dS m <sup>-1</sup>	0,85-0,95	0,45-0,64	0,91-0,98	1,92-2,03	0,25-0,32	250-3000
HCO <sub>3</sub> , meq l <sup>-1</sup>	4,55-5,00	5,12-5,14	6,55-7,01	6,11-7,45	2,02-2,58	150-1500*
CO <sub>3</sub> , meq l <sup>-1</sup>	iz	iz	iz	iz	iz	-
SO <sub>4</sub> , mg l <sup>-1</sup>	95,05-102,1	116,9-151,4	60,40-81,00	35,12-46,02	21,11-34,05	4-20
Cl, mg l <sup>-1</sup>	71,05-88,12	125,1-154,1	45,12-64,01	215,0-240,1	10,10-15,41	4-20
Ca, mg l <sup>-1</sup>	31,00-35,01	40,12-45,09	55,03-66,41	59,54-59,60	19,17-21,56	-
Mg, mg l <sup>-1</sup>	19,01-20,15	59,78-69,01	58,88-71,78	87,01-99,89	27,99-34,31	125-700*
K, mg l <sup>-1</sup>	8,10-10,11	10,15-13,12	25,01-30,12	10,89-20,14	3,20-4,21	100-600*
Na, mg l <sup>-1</sup>	98-41-120,1	156,4-198,1	54,4-61,4	205,4-251,4	12,1-13,52	15-700*
NH <sub>4</sub> -N, mg l <sup>-1</sup>	3,98-4,02	iz-iz	5,03-7,06	iz-iz	iz-iz	0 - 50
NO <sub>3</sub> -N, mg l <sup>-1</sup>	iz	iz	0,10-0-22	iz	İz	0 - 50
PO <sub>4</sub> -P, mg l <sup>-1</sup>	0,60-1,05	0,22-0,46	1,08-2,00	iz	İz	
B, mg l <sup>-1</sup>	0,25-0,35	0,61-1,02	0,20-0,30	0,05-0,10	İz	0,5 - 2
Cd, mg l <sup>-1</sup>	iz	iz	iz	iz	iz	0,01 - 0,05
Co, mg l <sup>-1</sup>	iz	iz	iz	iz	iz	0,05 - 5
Cr, mg l <sup>-1</sup>	iz	iz	iz	iz	iz	0,1 - 1
Cu, mg l <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	iz	iz	iz	iz	iz	5 - 10
Zn, mg l <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup>	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 <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub> - C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

\* Fiedler 1991 \*\* Anonim 1991

Çalışma kapsamında sulama suyu kalitesini belirlemek amacıyla Çizelge 4.1'deki analiz sonuçları incelendiğinde, kullanılan suların C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> ile C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> 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 Batı Atıksu Arıtma Tesisleri deşarj sularının EC değerlerinin 3. sınıf kullanılabilir ve 4. sınıf ihtiyatla kullanılmalı sınıfına girdiği belirlenmiştir.

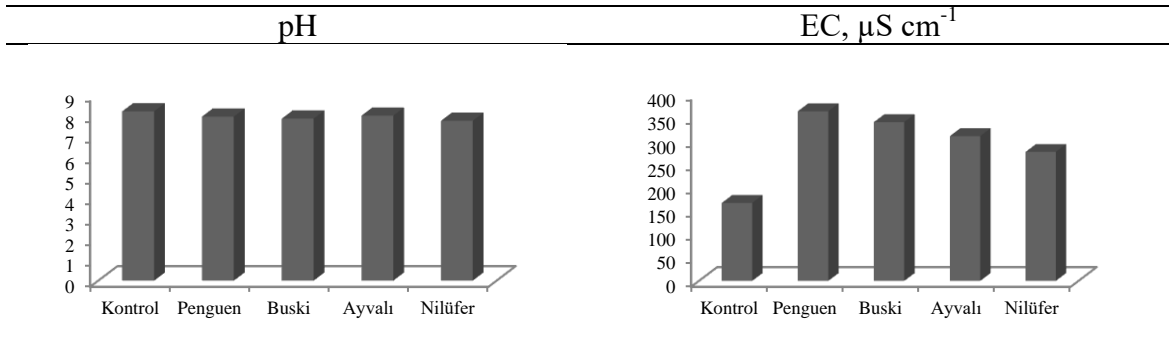
#### 4.2. Atıksuların ve Diğer Su Kaynaklarının Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Çalışma kapsamında alınan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında deneme toprağının kimi özellikleri (pH, EC, organik madde, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, alınabilir P ve alınabilir Na, K ve Ca) üzerine etkisi Çizelge 4.2, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Ele alınan su kaynaklarının toprak özellikleri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

**Çizelge 4.2.** Su kaynaklarının toprak özellikleri üzerine etkisi

	mg kg <sup>-1</sup>								
	pH	EC	OM %	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Alın. P	Na	K	Ca
<b>Kontrol</b>	8,21 a**	583,5 d**	1,491öd	1,89 cd**	20,03 b**	16,91 b**	101,0 c**	210,0 b**	8783,5 öd
<b>Nilüfer</b>	7,75 d	965,5 c	1,319	2,27 c	30,67 b	17,75 b	246,0 ab	219,5 b	7370,0
<b>Ayvalı</b>	8,00 b	1084 bc	1,663	1,29 d	26,25 b	20,68 b	291,5 a	215,5 b	8426,0
<b>BUSKİ</b>	7,85 c	1188,5 ab	1,559	4,02 b	53,18 a	44,57 a	193,0 b	300,5 a	7738,5
<b>Penguen</b>	7,95 b	1270 a	1,525	7,05 a	52,91 a	30,88 ab	258,5 a	294,0 a	8827,5

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



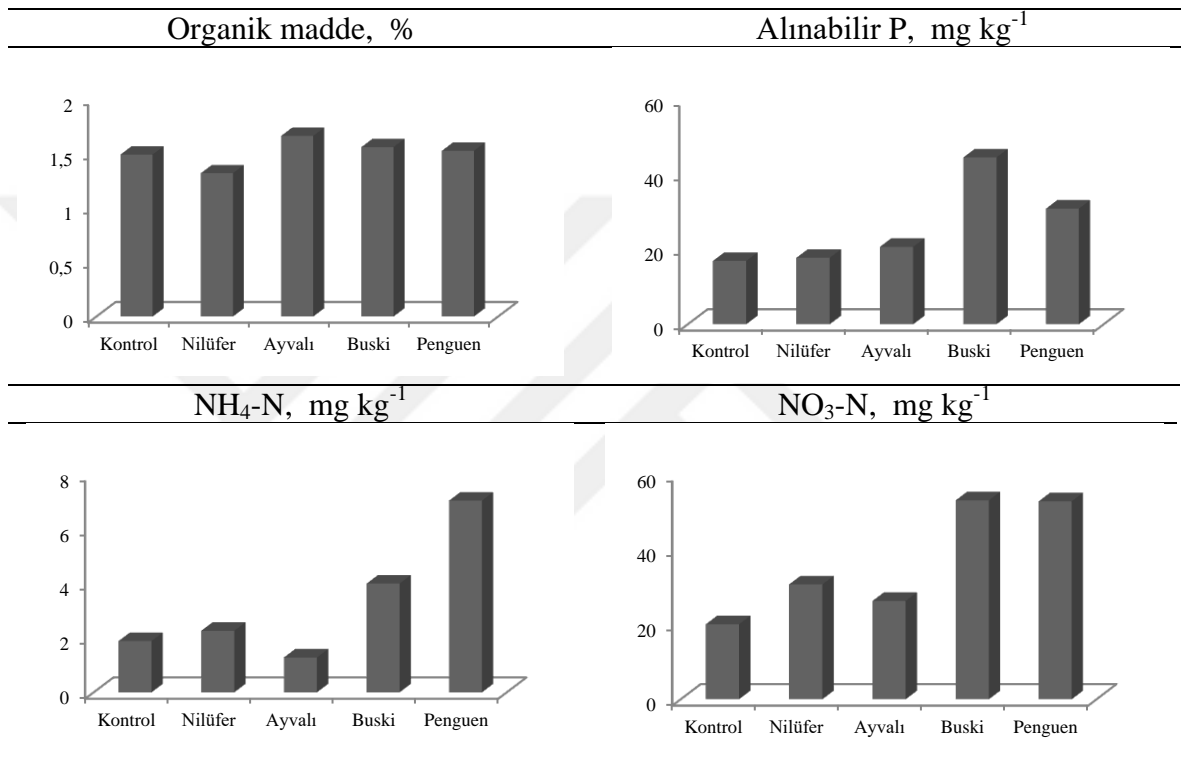
**Şekil 4.1.** Su kaynaklarının deneme toprağının pH ve EC'si üzerine etkisi

Çalışma kapsamında toprağa uygulanan su kaynakları kontrol uygulamasına göre toprak pH değerini düşürmüştür (Şekil 4.1). Uygulamalara bağlı olarak toprak pH değeri 8,21 ile 7,75 arasında değişmiştir. En düşük pH değeri Nilüfer Çayı suyu uygulamasında belirlenmiştir. 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 atıksuların pH değerlerinin düşük olmasından ileri gelmiş olabilir. Topraklarda pH değerinin düşmesi kimi besin elementlerinin alınabilirliğini arttırmaktadır (Anonim 2003). Shahalam ve ark. (1998) ve Uyanöz (2000) tarafından yapılan çalışmalarda, atıksuyun asidik, nötr veya bazik olmasına göre, toprakların pH değerini düşürdüğü, artırdığı veya etkilemediğini bildirmişlerdir. Çay (2013) atıksu uygulamaları sonucu, toprak pH değerlerindeki değişimlerin az olmasının nedeninin, toprakların kil ve kireç kapsamından dolayı tamponlama kapasitesinin yüksek olması olarak belirtmiştir. Fathi ve Mirzanejad (2014), atıksu ile sulama sonucu toprak pH'sının düştüğünü belirlemiştir. Ancak Kalavrouziotis ve ark. (2008) kentsel kökenli atıksu (pH 7,56) ile sulama sonucu toprak pH değerinin arttığını belirlemiştir.

Çalışma kapsamında toprağa uygulanan su kaynakları kontrol uygulamasına göre toprağın EC değerini arttırmıştır (Şekil 4.1). EC değerindeki artışlar su kaynaklarına göre farklı düzeylerde olmuştur. Uygulamalara bağlı olarak toprak EC değeri 583,5  $\mu\text{s cm}^{-1}$  ile 1270  $\mu\text{s cm}^{-1}$  arasında değişmiştir. 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 sınırlandıran en önemli faktörlerin başında toprak tuzluluğunun artması gelmektedir (Anonim 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; Khai ve ark., 2008). Bratby (2006) toprak tipine bağlı olarak atıksu uygulamalarının topraklarda orta tuzlu sınıfına girebileceğini ve tuzluluk problemine neden olabileceğini bildirmiştir. Mañas ve ark.(2009) nemli iklim şartlarında yürüttükleri çalışmada ise, 3

yıl süre ile atıksu uygulamasının toprağın pH ve EC değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede değiştirmediğini belirlemişlerdir.

Çalışma kapsamında alınan farklı su kaynaklarının 60 g¼nl¼k ink¼basyon çalışması sonrasında deneme toprağının organik madde, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N ve alınabilir P içerikleri ¼zerine etkisi Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Sulama uygulamalarına bağlı olarak toprak organik maddesi, alınabilir P, NH<sub>4</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N miktarlarındaki değişimler.

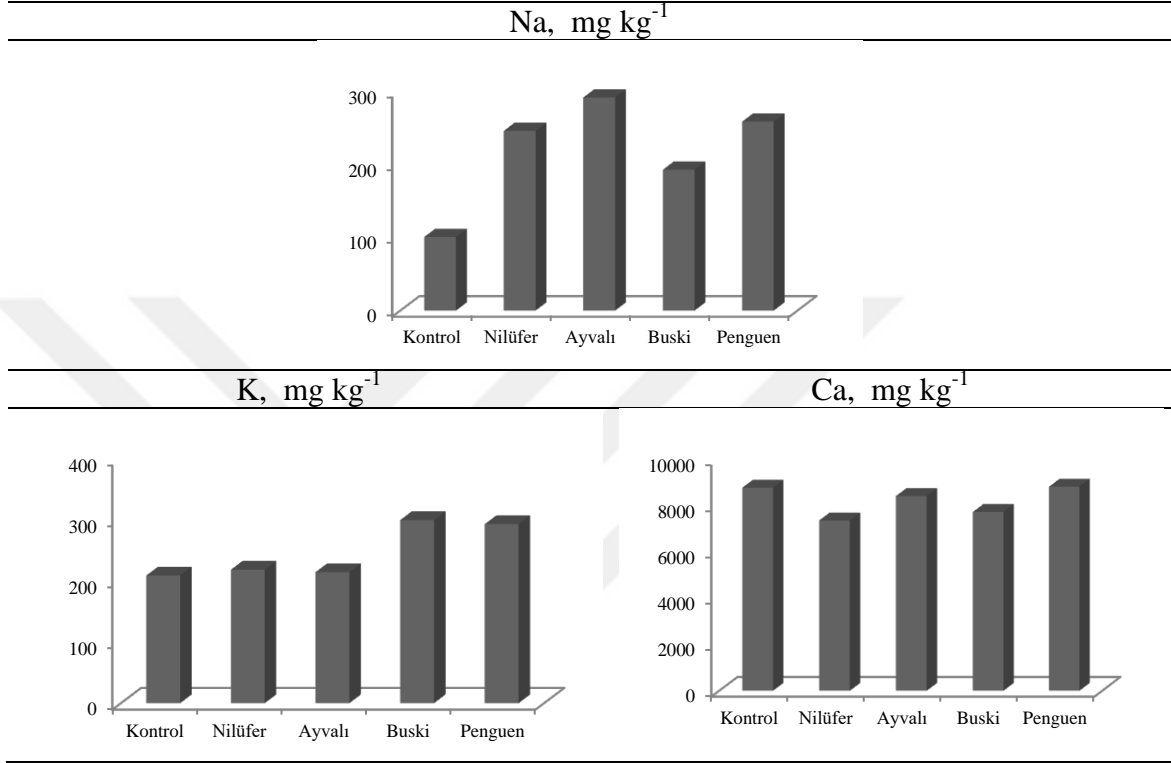
Su kaynaklarının toprak organik maddesi ¼zerine etkisi istatistiksel olarak ¼nemli bulunmamıştır. Toprak organik madde içeriği % 1,319 ile % 1,663 arasında değişim g¼stermiřtir. Kocaer ve Başkaya (2004), Nil¼fer Çayı ile sulama sonucu toprağın organik madde içeriğinin kontrol uygulamasına g¼re artış g¼sterdięini bildirmişlerdir. Yadav ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, temiz kuyu suyuyla sulanan bir tarım toprağının 0-15 cm’lik ¼st tabakasında %0,97 ila %1,18 arasında organik madde tespit edilmiş ve aynı b¼lgede atıksuyla sulanan topraklarda ise bu değerin %1,68 ila %1,78 seviyelerine çıkararak bir artış g¼sterdięi belirlenmiştir. Kudal ve M¼ft¼oęlu (2014), atıksu ile sulanan alanlarda organik karbon miktarlarının y¼ksek olduğunu ve bu

farkın nedeninin evsel atıklardaki yüksek karbon miktarlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Toprağa uygulanan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında deneme toprağının  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3\text{-N}$  içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprağın amonyum içeriği  $1,29 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $7,05 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Penguen ve BUSKİ Batı Arıtma Tesisi atıksuyu uygulanan topraklarda kontrol uygulamasına göre  $\text{NH}_4\text{-N}$  miktarı önemli artış göstermiştir. Atıksu uygulamaları ile toprakların  $\text{NO}_3\text{-N}$  içerikleri ise  $20,05 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $53,18 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Nilüfer Çayı, Ayvalı Deresi, Penguen ve BUSKİ Batı Arıtma Tesisi atıksuyu uygulamaları kontrol uygulamasına göre toprağın  $\text{NO}_3\text{-N}$  içeriğinde artış sağlamışlardır. Azot formlarındaki artışlar incelendiğinde,  $\text{NO}_3\text{-N}$  içeriğinde 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 formlarında 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 ve pH değerinin düşmesinin bitki besin elementlerinin alınabilirliği açısından bitki gelişimini teşvik edeceğini belirtmişlerdir.

60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında toprağa uygulanan farklı su kaynaklarının, deneme toprağının alınabilir P, alınabilir Na, K ve Ca içeriği üzerine etkisi Ca haricinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.2). Farklı sulama suyu kaynakları uygulaması kontrole göre toprağın alınabilir P içeriğini artırmıştır. En düşük alınabilir P, kontrol uygulamasında  $16,91 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenirken en yüksek alınabilir P BUSKİ uygulamasında  $44,57 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Uygulamalardaki bu artışlar su kaynaklarının farklı kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Day ve Tucker (1977), atıksu kullanımı ile gübre kullanımına gerek kalmayacak şekilde toprakların fosfor içerdiğinin arttığını belirtmişlerdir. Kalavrouzotis 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 arttırdığını bildirmişlerdir. Angin ve ark. (2005), atıksu ile sulama sonucu toprağın P içeriğinin arttığını bildirmişlerdir.



**Şekil 4.3.** Sulama uygulamalarına bağlı olarak topraktaki alınabilir Na, K ve Ca miktarındaki değişimler.

Toprağın alınabilir Na, K ve Ca içeriğindeki farklılıklar incelendiğinde; alınabilir Ca içeriğinde meydana gelen değişim 7370,0 mg kg<sup>-1</sup> ile 8827,5 mg kg<sup>-1</sup> arasında olmuştur. Bu değişim istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Bu sonuç, deneme toprağının değişebilir Ca içeriğinin yüksek olması ile açıklanabilir. Belaid ve ark. (2012), arıtılmış atıksu ile sulanan ve sulanmayan topraklarda alınabilir Ca miktarında istatistiksel olarak fark belirlenmemesinin nedenini, toprakların Ca içeriğinin yüksek olması ile açıklamışlardır. Kalavrouziotis ve ark. (2008) atıksu ile sulama sonucunda, toprağın K içeriğinde meydana gelen değişimi önemsiz bulmuştur. Toprağın alınabilir Na ve K miktarı en düşük kontrol uygulamasında belirlenmiş, su kaynaklarına bağlı olarak

alınabilir Na ve K miktarları artış göstermiştir. Na ve K miktarındaki artışlar incelendiğinde Ayvalı (291,5 mg kg<sup>-1</sup>), Nilüfer (246 mg kg<sup>-1</sup>) ve Penguen (258,5 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamaları Na artışında etkili olurken BUSKİ (300,5 mg kg<sup>-1</sup>) ve Penguen (294 mg kg<sup>-1</sup>) K içeriğindeki artışlarda önemli etki göstermişlerdir. 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. 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 bildirmişlerdir.

Çalışma kapsamında alınan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında deneme toprağının bazı ağır metal içerikleri (alınabilir Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb ve Cd) üzerine etkileri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Ele alınan su kaynaklarının toprağın alınabilir Pb ve Cd içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli ( $P<0,05$ ,  $P<0,01$ ) bulunmuştur.

**Çizelge 4.3.** Su kaynaklarının toprak ağır metal içeriği üzerine etkisi

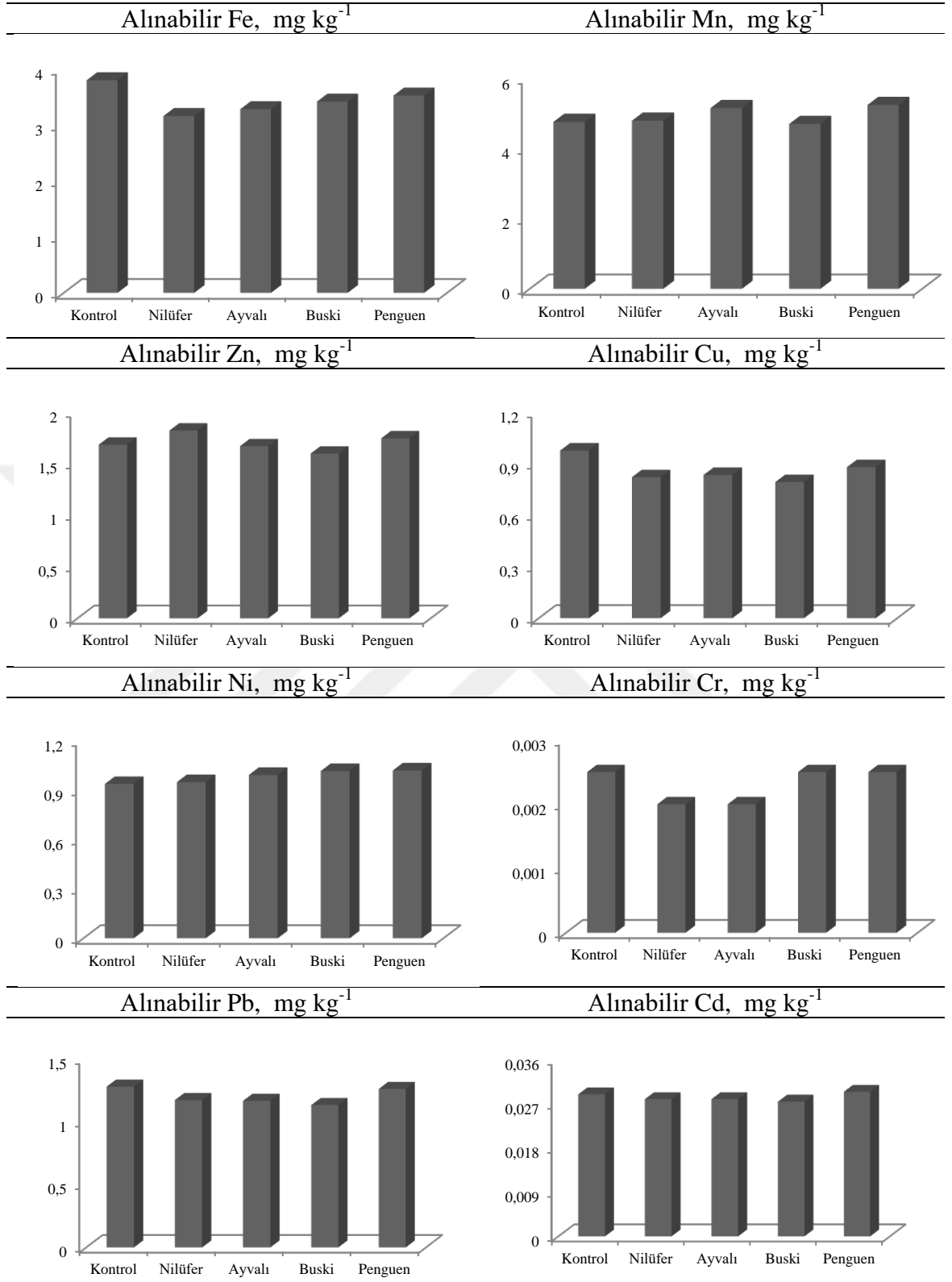
	mg kg <sup>-1</sup>							
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd
<b>Kontrol</b>	3,80 öd	4,75 öd	1,68 öd	0,976 öd	0,937 öd	0,003 öd	1,28 a**	0,029 ab*
<b>Nilüfer</b>	3,16	4,79	1,82	0,821	0,948	0,002	1,17 b	0,028 bc
<b>Ayvalı</b>	3,28	5,14	1,67	0,834	0,991	0,002	1,17 b	0,028 bc
<b>BUSKİ</b>	3,42	4,69	1,60	0,792	1,015	0,003	1,13 b	0,028 c
<b>Penguen</b>	3,52	5,23	1,74	0,879	1,018	0,003	1,26 a	0,030 a

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

Toprağa uygulanan farklı su kaynaklarının 60 günlük inkübasyon çalışması sonrasında toprağın alınabilir Fe, Mn, Zn, Cu, Ni ve Cr içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.3). Uygulamalara bağlı olarak toprağın alınabilir Fe

içeriği 3,16 mg kg<sup>-1</sup> ile 3,80 mg kg<sup>-1</sup>, alınabilir Mn içeriği 4,69 mg kg<sup>-1</sup> ile 5,14 mg kg<sup>-1</sup>, alınabilir Zn içeriği 1,60 mg kg<sup>-1</sup> ile 1,82 mg kg<sup>-1</sup>, alınabilir Cu içeriği 0,792 mg kg<sup>-1</sup> ile 0,976, alınabilir Ni içeriği 0,937 mg kg<sup>-1</sup> ile 1,018 mg kg<sup>-1</sup>, alınabilir Cr içeriği 0,002 mg kg<sup>-1</sup> ile 0,003 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir. Uygulamalara bağlı olarak alınabilir Pb ve Cd içeriğindeki değimler, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Alınabilir Pb içeriği en yüksek kontrol uygulamasında (1,28 mg kg<sup>-1</sup>) belirlenirken, Nilüfer (1,17 mg kg<sup>-1</sup>), Ayvalı (1,17 mg kg<sup>-1</sup>) ve BUSKİ (1,13 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamaları kontrol uygulamasına göre daha düşük bulunmuştur. Alınabilir Cd içeriği ise en yüksek Penguen arıtma tesisi atıksuyu uygulamasında (0,030 mg kg<sup>-1</sup>) belirlenmiştir. Atıksu uygulamalarına bağlı olarak topraklardaki ağır metal içeriğinin önemsiz çıkması suların ağır metal içeriğinin düşük olmasından ve toprağın pH ve kil içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Yapılan inkübasyon çalışmanın süre açısından kısa olması da değerler arasındaki farklılıkların önemsiz çıkmasına neden olmuş olabilir. 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 gözlemlendiği belirtilmiştir. 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 belirlemişlerdir. Özellikle bu artışların üst toprakta daha fazla olduğunu, toprağın kil içeriği ve organik madde içeriği ile ilgili olarak açıklamışlardır.



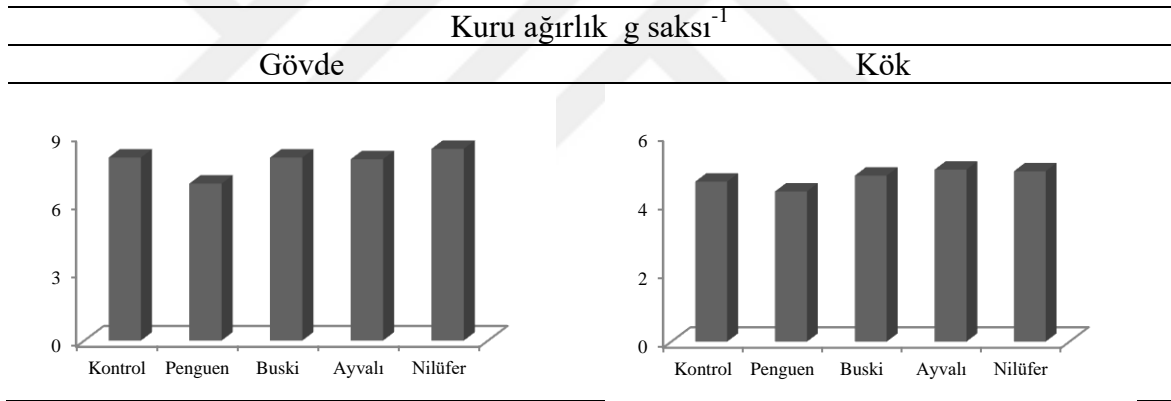


Şekil 4.4. Su kaynaklarının toprağın alınabilir ağır metal içerikleri üzerine etkisi

### 4.3. Atıksuların ve Diğer 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 4.4’de verilmiştir.

Bitki gövdesindeki kuru ağırlık artışı kontrole (8,033 g saksı<sup>-1</sup>) göre Ayvalı (7,960 g saksı<sup>-1</sup>) ve BUSKİ (8,030 g saksı<sup>-1</sup>) ve Penguen (6,893 g saksı<sup>-1</sup>) atıksu uygulamalarında daha düşük bulunurken Nilüfer Çayı suyu ile sulanan uygulama (8,417 g saksı<sup>-1</sup>) kontrole göre daha yüksek bulunmuştur. Uygulamalar arasındaki bu farklılıklar atıksu ile sulama sonucu toprakta meydana gelen tuzluluğun etkisinden kaynaklanmış olabilir (Şekil 4.5). Angin ve ark. (2005) tarla koşullarında yapmış oldukları çalışmada, lahana ve patates bitkilerinde atıksu sulaması ile ilgili ürün miktarının arttığını belirlemişlerdir.



**Şekil 4.5.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök kuru ağırlığındaki değişimler

Deneme 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 kök Na ve Cd, gövdede Na ve Mn içeriğindeki değişimler ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

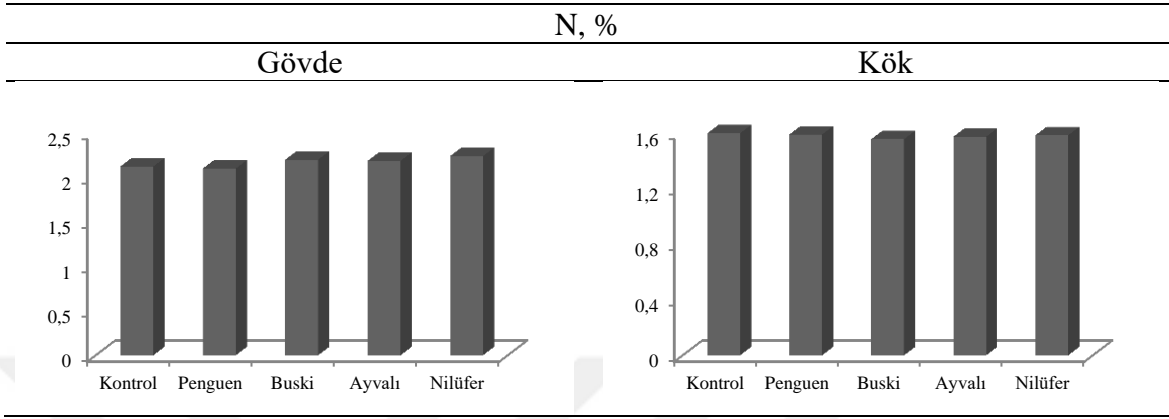
Uygulamalara bağlı olarak gövdenin N içeriği %2,121 (kontrol) ile %2,236 (Nilüfer) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.6). Bitkide N içeriği Jones ve ark.

Çizelge 4.4. Su kaynaklarının mısır bitkisinin gelişimi, bitki besin elementi ve ağır metal içerikleri üzerine etkisi

Özellikler		Sulama Suyu Kaynakları									
		Üst (gövde)					Alt (kök)				
		Kontrol	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen	Kontrol	Nilüfer	Ayvalı	BUSKİ	Penguen
$g\ s^{-1}$	<b>KA</b>	8,033 a**	8,417 a	7,960 a	8,030 a	6,893 b	4,657 öd	4,957	5,003	4,830	4,373
%	<b>N</b>	2,121 öd	2,236	2,183	2,197	2,097	1,595 öd	1,580	1,570	1,553	1,586
	<b>P</b>	0,756 öd	0,720	0,708	0,751	0,758	0,689 öd	0,678	0,710	0,685	0,695
	<b>K</b>	3,344 öd	3,556	3,088	3,328	3,521	2,274 öd	2,396	2,378	2,331	2,059
	<b>Ca</b>	0,996 öd	1,013	0,976	0,980	1,156	0,565 öd	0,571	0,577	0,461	0,747
	<b>Na</b>	0,135 d**	0,197 bc	0,201 b	0,156 cd	0,247 a	0,191 c**	0,456 a	0,490 a	0,323 b	0,510 a
$mg\ kg^{-1}$	<b>Fe</b>	104,3 öd	101,0	110,3	126,8	139,0	3388,3 öd	3330,3	3954,3	3534,7	3310,3
	<b>Mn</b>	41,02 b**	50,14 a	50,96 a	50,33 a	57,27 a	95,7 öd	109,8	120,9	102,7	105,8
	<b>Cu</b>	4,967 öd	5,411	4,787	5,195	5,658	12,53 öd	12,27	12,50	11,47	12,23
	<b>Zn</b>	24,92 öd	25,01	26,17	27,91	31,20	33,63 öd	30,97	34,17	31,27	29,68
	<b>Cd</b>	0,112 öd	0,160	0,156	0,138	0,187	0,390 c**	0,411 bc	0,519 ab	0,413 bc	0,553 a
	<b>Cr</b>	4,756 öd	4,272	5,128	5,173	4,990	19,90 öd	24,94	30,25	27,82	20,37
	<b>Ni</b>	2,042 öd	2,193	2,262	2,579	2,437	53,83 öd	53,76	58,37	51,67	51,32
	<b>Pb</b>	1,828 öd	1,954	1,979	1,998	2,070	4,199 öd	4,101	4,516	4,318	4,030

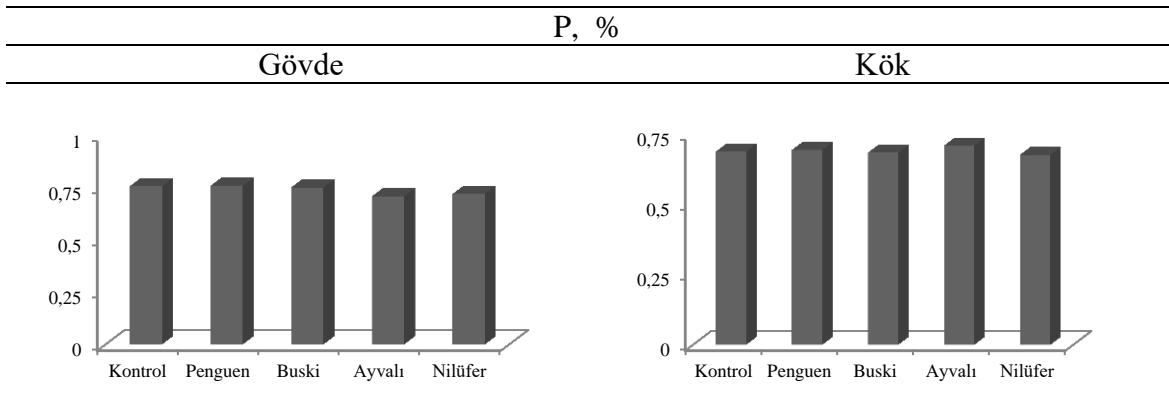
\*.  $P < 0,05$ , \*\*.  $P < 0,01$ , öd: önemli değil, KA: kuru ağırlık

(1991) tarafından bildirilen sınır değerinin altında ( $<3,50$ ) bulunmuş ve az olarak değerlendirilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak kök N içeriği  $1,553$  ile  $1,595$  arasında değişim göstermiştir.



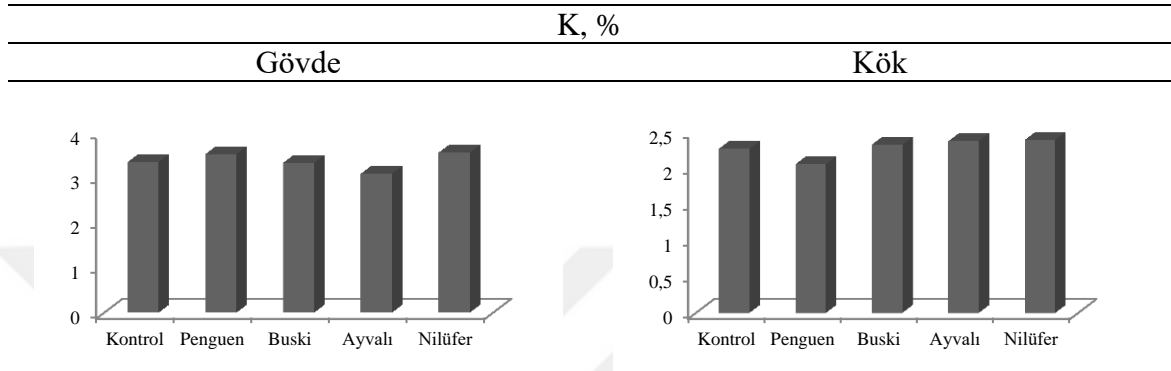
**Şekil 4.6.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök N içeriğindeki değişimler

Mısır bitkisinin uygulamalara bağlı olarak gövde P içeriği  $0,708$  ile  $0,758$  arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.7). Bu değerler Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerlere göre ( $<0,50$ ) fazla olarak değerlendirilmiştir. Mısır bitkisinin kök aksamının P içeriği de  $0,678$  ile  $0,710$  arasında değişim göstermiştir.



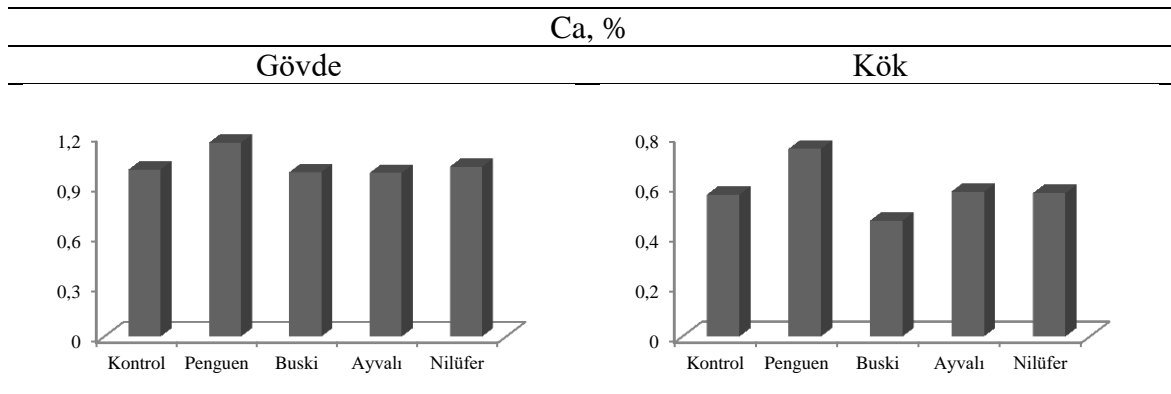
**Şekil 4.7.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök P içeriğindeki değişimler

Mısır bitkisinin gövde K içeriği uygulamalara bağlı olarak, %3,088 ile %3,556 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.8). 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 %2,059 ile %2,396 arasında değişim göstermiştir.



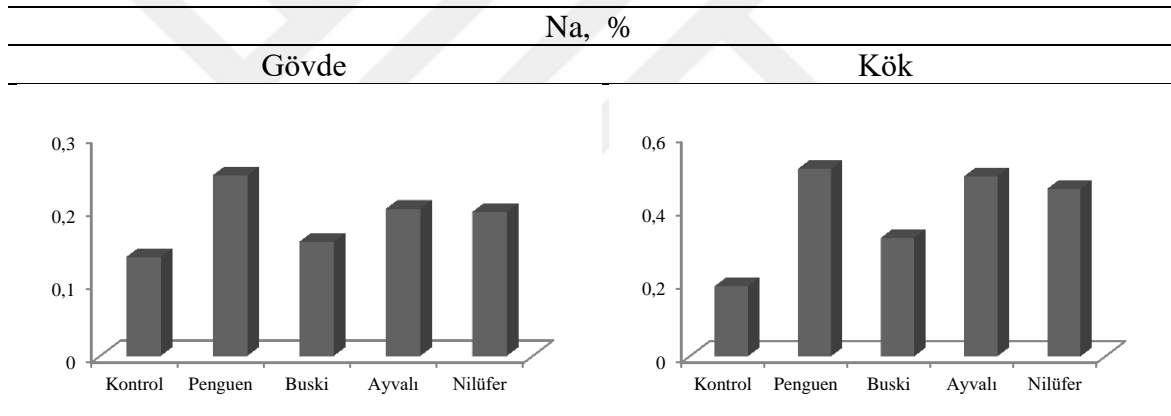
**Şekil 4.8.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök K içeriğindeki değişimler

Mısır bitkisinin gövde Ca içeriği uygulamalara bağlı olarak, %0,976 ile %1,156 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.9), bu değerler Jones ve ark. (1991) tarafından belirtilen sınır değerlere göre (>%0,70) fazla olarak değerlendirilmiştir. Mısır bitkisinin kök aksamının Ca içeriği ise %0,461 ile %0,747 arasında değişim göstermiştir.



**Şekil 4.9.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Ca içeriğindeki değişimler

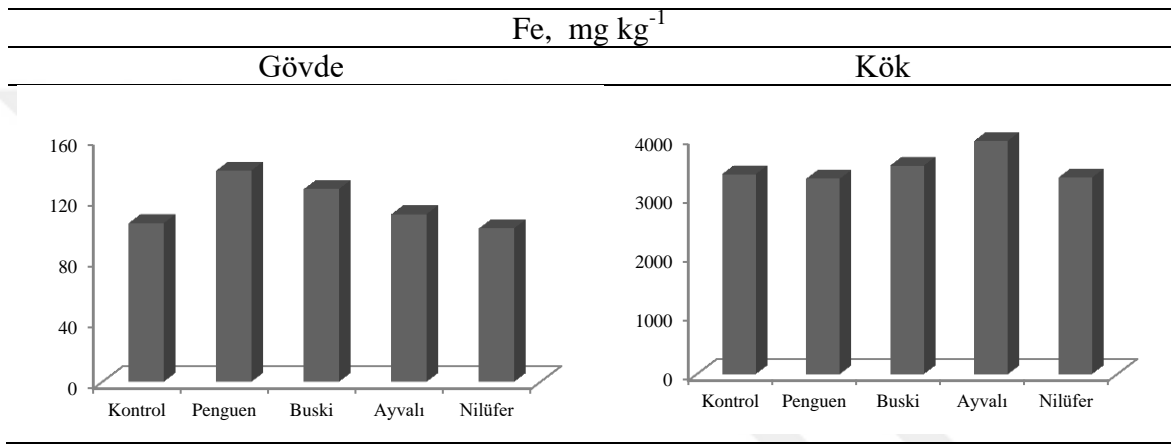
Uygulamalara bağı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Na içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve atıksu uygulamalarına bağı olarak Na içerikleri artış göstermiştir (Şekil 4.10 ve Çizelge 4.4). Kontrol uygulamasına göre gövdede %0,135 ile % 0,247 arasında Na artışı görülürken, kökte % 0,191 ile % 0,510 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 ark., 2010). Mengel ve Kirkby (2001) Na alımlarına göre bitkilerin gruplandırmışlar ve mısır bitkisinin çok az Na aldığını belirtmişlerdir.



**Şekil 4.10.** Sulama suyu uygulamalarına bağı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Na içeriğindeki değişimler

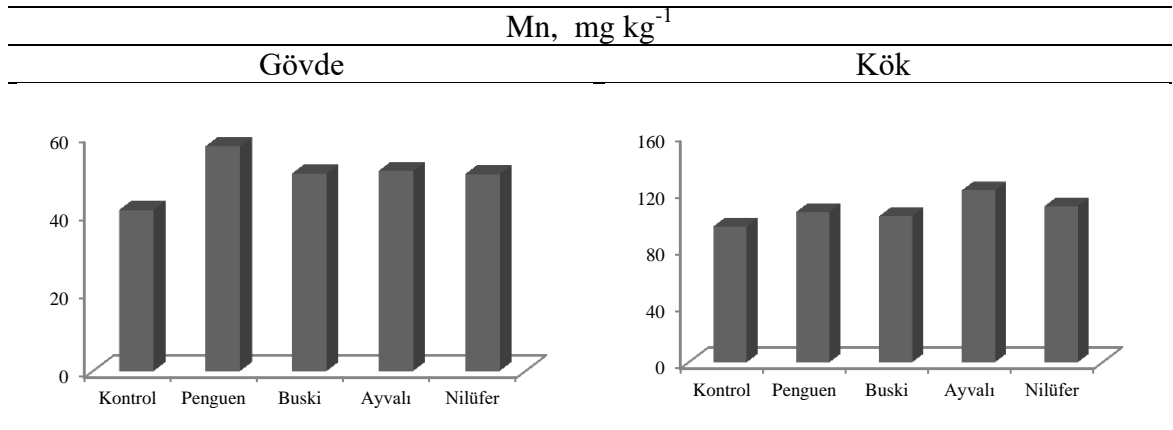
Mısır bitkisinin mikro element ve kimi ağır metal içeriğindeki değişimler incelendiğinde, uygulamalara bağı olarak gövde Fe, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni ve Pb içeriklerindeki değişimler önemsiz bulunurken Mn içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4). Kök aksamındaki değişimler incelendiğinde ise, kök Cd içeriğindeki artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Diğer ağır metallerdeki değişim önemsiz bulunmuştur.

Uygulamalara bağılı olarak mısır bitkisinin gövde Fe içeriğı kontrol uygulamasında 104,3 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenirken, istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, Nilüfer, Ayvalı, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında gövde Fe içeriğı artış göstermiş; sırası ile 110,3 mg kg<sup>-1</sup>, 126,8 mg kg<sup>-1</sup> ve 139,0 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Kökün Fe içeriğı ise, uygulamalara bağılı olarak 3310,3 mg kg<sup>-1</sup> (Penguen) ile 3954,3 mg kg<sup>-1</sup> (Ayvalı) arasında değışim göstermiştir. Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değırlere göre mısır bitkisinin Fe içeriğı (50-250 mg kg<sup>-1</sup>) yeterli olarak değılendirilmiştir.



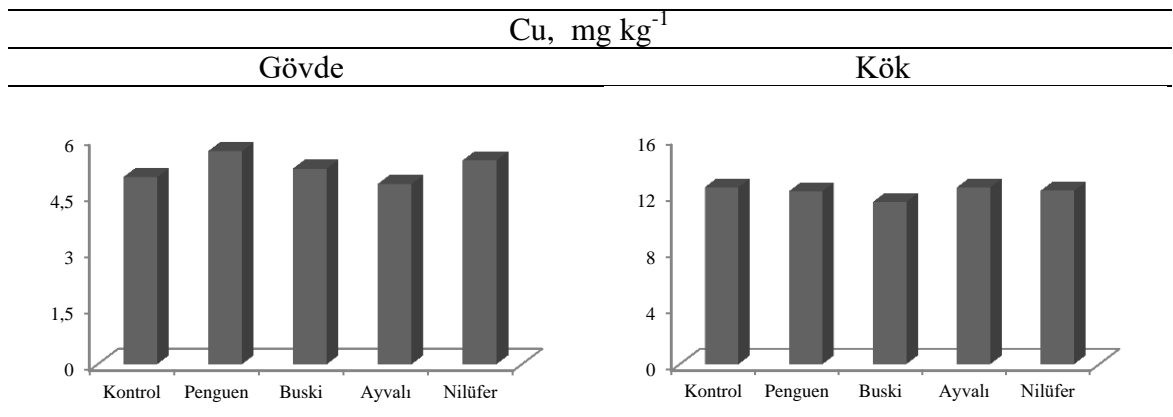
**Şekil 4.11.** Sulama suyu uygulamalarına bağılı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Fe içeriğindeki değışimler

Mısır bitkisinin gövde Mn içeriğı kontrole göre (41,02 mg kg<sup>-1</sup>) atıksu uygulamaları ile önemli miktarda artış göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.12). Mn içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında (57,27 mg kg<sup>-1</sup>) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile 50,14 mg kg<sup>-1</sup>, 50,96 mg kg<sup>-1</sup> ve 50,33 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bitkinin gövde Mn içeriğı Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değırlere göre (20 mg kg<sup>-1</sup> - 300 mg kg<sup>-1</sup>) yeter düzeyde olarak değılendirilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, bitki kök Mn içeriğı de atıksu uygulamalarına bağılı olarak kontrole göre (95,7 mg kg<sup>-1</sup>) artış göstermiş ve 102,7 mg kg<sup>-1</sup> ile 120,9 mg kg<sup>-1</sup> arasında belirlenmiştir.



**Şekil 4.12.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Mn içeriğindeki değişimler

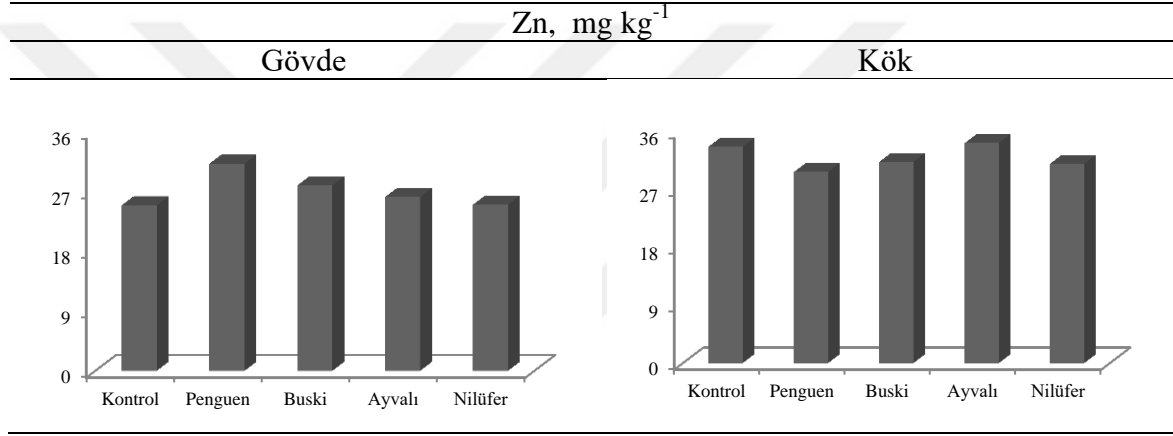
Uygulamalara bağlı olarak mısır bitkisinin gövde Cu içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Kontrol uygulamasında 4,967 mg kg<sup>-1</sup> olan gövde Cu içeriği Nilüfer, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında artış göstererek, sırası ile 5,411 mg kg<sup>-1</sup>, 5,195 mg kg<sup>-1</sup>, 5,658 mg kg<sup>-1</sup> bulunurken, Ayvalı uygulamasında (4,787 mg kg<sup>-1</sup>) kontrole göre azalma göstermiştir (Şekil 4.13). Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre (5 - 20 mg kg<sup>-1</sup>) Kontrol, Nilüfer, BUSKİ ve Penguen uygulamaları yeter düzeyde, Ayvalı uygulaması ise az düzeyde (<5 mg kg<sup>-1</sup>) olarak değerlendirilmiştir. Bitkinin kök Cu içeriği de atıksu uygulamalarına bağlı olarak 11,47 mg kg<sup>-1</sup> ile 12,53 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişim göstermiştir.



**Şekil 4.13.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cu içeriğindeki değişimler



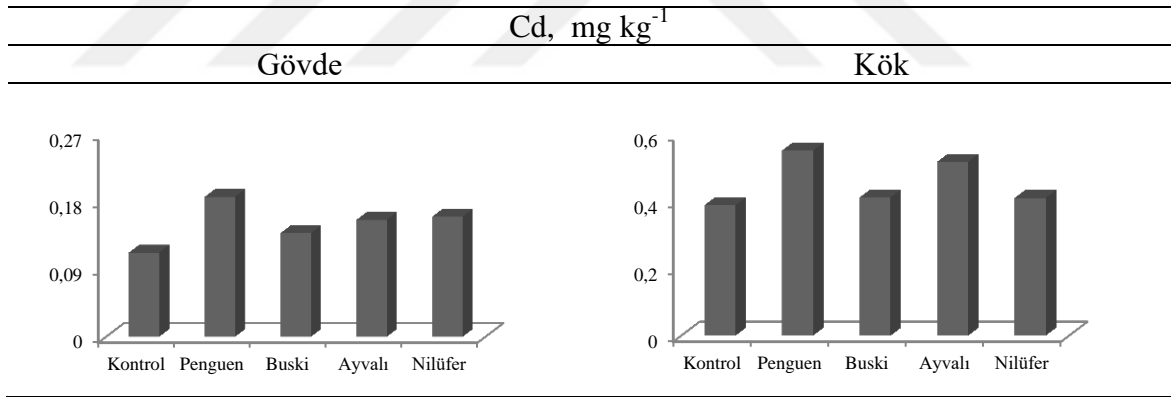
Mısır bitkisinin gövde Zn içeriği kontrole göre ( $24,92 \text{ mg kg}^{-1}$ ) atıksu uygulamaları ile artış göstermiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.14). Bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Gövde Zn içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında ( $31,20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile  $25,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $26,17 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $27,91 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Jones ve ark. (1991) tarafından bildirilen sınır değerlere göre ( $20-60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) mısır bitkisinin gövde Zn içerikleri yeter düzeyde olarak değerlendirilmiştir. Bitkinin kök Zn içeriği de atıksu uygulamalarına bağlı olarak  $29,68 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $34,17 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir.



**Şekil 4.14.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Zn içeriğindeki değişimler

Mısır bitkisinin gövde Cd içeriği kontrole göre ( $0,112 \text{ mg kg}^{-1}$ ) atıksu uygulamaları ile artış göstermiştir (Çizelge 4.4). Bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Gövde Cd içeriğinde en yüksek artış Penguen atıksu ile sulama uygulamasında ( $0,187 \text{ mg kg}^{-1}$ ) bulunmuş, Nilüfer, Ayvalı ve BUSKİ atıksu uygulamaları da sırası ile  $0,160 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $0,156 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $0,138 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15). Bitkinin kök Cd içeriğindeki değişim, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sulama suyu kaynakları, kontrole göre kökün Cd içeriğini arttırmıştır. Ancak bu artış Ayvalı ve Penguen uygulamalarında önemli bulunmuştur. Kontrol uygulamasında kök Cd içeriği  $0,390 \text{ mg kg}^{-1}$  iken, Nilüfer, Ayvalı, BUSKİ ve Penguen uygulamalarında sırası ile  $0,411 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $0,519 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $0,413 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $0,553 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

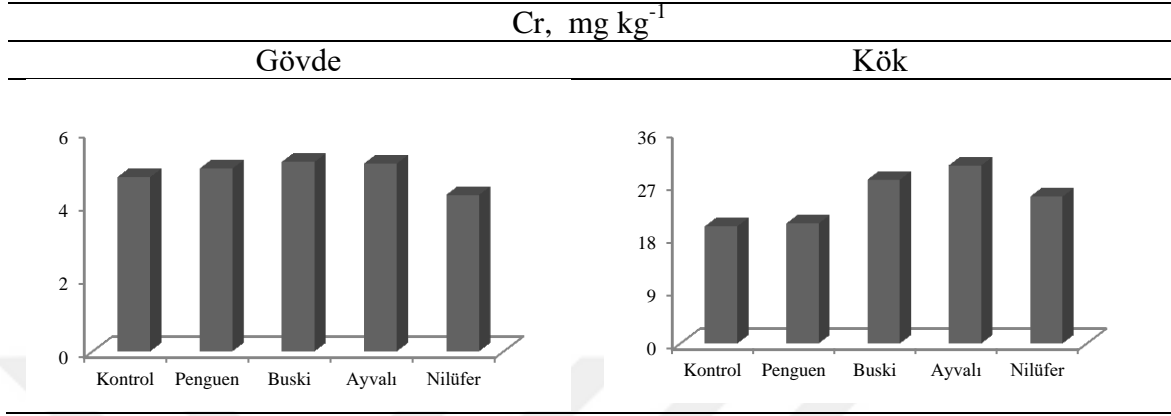
Bitkide gövde Cd içerikleri Alloway ve Ayres (1997) tarafından bildirilen toksik sınır değerlerinin ( $5-30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) altında belirlenmiştir. Buna ek olarak Kabata ve Pendias (1992), bitkide Cd yeterlilik sınır değerini  $0,05-0,2 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında olduğunu bildirmişlerdir. Belirlenen sonuçlara göre, değerler yeterlilik sınırları içinde kalmasına karşın toksik sınırların altında olarak belirlenmiştir. Topraklarda kadmiyum alınabilirliği büyük ölçüde toprak pH değerine ve diğer 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 etkilediği bildirilmiştir. (Kacar ve Katkat, 2009). Doğan (2003), Şanlıurfada Karakoyun Deresi atıksuları ile sulanan soğanda Cd içeriğini  $5,06 \text{ mg kg}^{-1}$  -  $6,15 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında tespit etmiş, yani toksik sınırları geçtiğini belirlemiştir. Bu artışın Karakoyun Deresi'ne dökülen atıksu ile sulama ve gübreleme sonucu tehlikeli bir düzeyde olduğu da belirtilmiştir. Sauerbeck (1985)  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dan yüksek Cd içeren bitkilerin tüketilmesinin insanlarda kadmiyumun zehir etkisini ortaya çıkardığını bildirmiştir.



**Şekil 4.15.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cd içeriğindeki değişimler

Mısır bitkisinin gövde ve kök Cr içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Bitkinin Cr içerikleri  $4,272 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $5,173 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.16). Kök Cr içerikleri ise kontrol uygulamasına göre atıksu uygulamalarında artış göstermiştir. Kontrol uygulamasında kök Cr içeriği  $19,90 \text{ mg kg}^{-1}$  iken atıksu uygulamalarında  $20,37 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $30,25 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında

değişim göstermiştir. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak bitkinin Cr içeriğinde meydana gelen değişimler Alloway ve Ayres (1997) tarafından bildirilen sınır değerlerin altında ( $5-30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) kalmıştır.

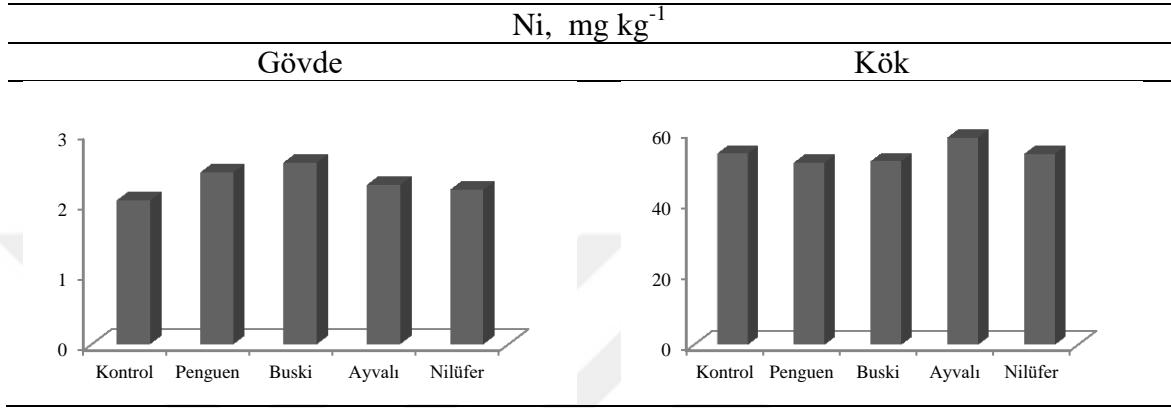


**Şekil 4.16.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Cr içeriğindeki değişimler

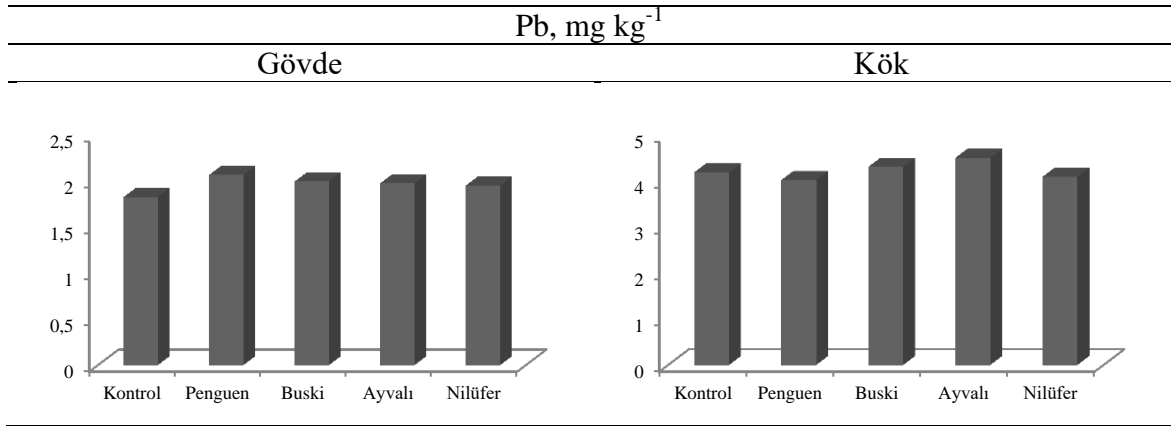
Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak, mısır bitkisinin gövde ve kök Ni içeriklerindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Gövde Ni içeriği  $2,042 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $2,579 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında, kök Ni içeriği ise  $51,32 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $58,37 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.17). Bitkilerin gövde Ni içerikleri, Alloway ve Ayres (1997) tarafından bildirilen sınır değerlerin altında ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Bitkilerde gereğinden fazla bulunan nikel klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar. Nikel toksisitesi özellikle kanalizasyon atıklarının fazlaca bulunduğu yörelerde görülür. Bitkilerde toksik kritik Ni düzeyi kuru madde ilkesine göre; duyarlı bitkilerde  $> 10 \text{ mg kg}^{-1}$  ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde  $10-50 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak bildirilmiştir (Bollard 1983, Asher 1991).

Bitkinin Pb içeriğindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak kontrole göre ( $1,828 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sulama suyu olarak kullanılan su kaynaklarının bitkinin Pb içeriğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak bitki kök Pb içerikleri  $4,101 \text{ mg kg}^{-1}$  ile  $4,516 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında belirlenmiştir. Mısır bitkisinin Pb içeriği Alloway ve Ayres (1997) tarafından bildirilen toksik sınır değerlerin altında ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Kabata ve Pendias (1992) ise bitkilerde Pb yeterlilik sınır

değerini 0,2-10 mg kg<sup>-1</sup> 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)



**Şekil 4.17.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Ni içeriğindeki değişimler



**Şekil 4.18.** Sulama suyu uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisinin gövde ve kök Pb içeriğindeki değişimler.

Ağır metal içeriklerinin uygulamalara bağlı olarak önemsiz çıkması, toprağın kil içeriği ve pH değerine bağlı olarak bitkinin ağır metal alımının sınırlanması ile ilgili olabilir. Mañas 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 içeriklerinin 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. Bitkiler; (1) ağır metal alımı azaltılırken hücre duvarlarında immobil şekle dönüştürülen ağır metal iyonlarının apoplastta taşınması ve protoplazmaya ulaşması önlenir. (2) Ağır metallerin protoplazma çeperini aşıp protoplazmaya ulaşması engellenir. (3) Ağır metaller ile sitoplazmada kükürt içeren polipeptitler (glutation ve glutamil sistein türevleri) ve SH içeren proteinler arasında kilyet oluşturulur. Ayrıca stres proteinleri sentezi artırılır. (4) Vakuollerdeki organik ve inorganik asitlerle olduğu gibi fenol türevleri ve glikozitlerle ağır metaller arasında kompleks oluşturulur. (5) Ağır metallerin hücre dışına taşınması artırılır. Jones ve Clement (1972), Smical ve ark. (2008) ve Thapliyal ve ark. (2013) ağır metallerin, bitki organlarında, en çok kök, yaprak, çiçek tomurcuklarında ve en az meyvede biriktiğini bildirmişlerdir.

## 5. SONUÇ

Çalışma kapsamında ele alınan su kaynaklarının toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri genel olarak değerlendirildiğinde toprak pH değerini düşürmesi bitki besin elementlerinin alınabilirliği açısından önemli bir etki olarak görülebilir. Ancak toprak tuzluluğunda meydana getirdiği artışlar yapılan çalışmanın sera koşullarında saksı denemesi olarak yürütüldüğü de göz önünde bulundurulduğunda olumsuz bir etki olarak değerlendirilebilir. Özellikle tuz içeriği yüksek sulama sularının (III ve IV. Sınıf) kullanılmasında bitki tarafından alınıp, 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 ve kil içeriğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle bu tür suların kumlu tekstürlü ve düşük pH değerine sahip topraklara uygulanmaması gerektiği bildirilmektedir. Toprak özelliklerine bağlı olarak, ağır metal içeriğindeki değişimin düşük olması, o toprakta yetiştirilen bitkiye taşınımının da sınırlanmasını sağlamakta ve bitkilerde toksik değere ulaşım görülmemektedir. Yapılmış olan çalışmada saksı koşullarında bitki ağır metal içeriklerinin sınır değerlerin altında olması çalışmanın kısa süreli olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle ağır metallerin topraktaki alınabilirliği ve bitkiye taşınımının belirlenmesi noktasında 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 d6nemsel olarak IV. sınıf su kalitesine kadar d6şmektedir. Nilüfer ayının sulama suyu olarak kullanıldığı b6lgelerde uzun s6redir s6regelen kirliliğin etkilerinin belirlenmesi için toprak, su, bitki 6rneklerinin alındığı geniş kapsamlı bir proje çalışmasının yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



## KAYNAKLAR

**Akın, M., Akın, G. 2007.** Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi* 47:105-118

**Alghobar, M.A., Ramachandra, L., Suresha, S. 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* 2014; 3(5): 283-291

**Alloway, B.J., Ayres, D.C. 1997.** Chemical Principles of Environmental Pollution, 2<sup>nd</sup> ed. Chapman and Hall Inc. Londra, Birleşik Krallık, 208-211.

**Angin, İ., Yaganoglu, A.V., Turan, M. 2008.** Effects of Long-Term Wastewater Irrigation on Soil Properties. *Journal of Sustainable Agriculture*, 26(3): 31-42.

**Anonim, 1991.** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usüller Tebliği. *Resmi Gazete*, sayı: 20748, Ankara

**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, 2004.** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. *Resmi Gazete*, sayı: 25687, Ankara

**Anonim, 2005.** Toprak Kirliliği Yönetmeliği. *Resmi Gazete*, sayı: 25831, Ankara

**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*

**Asher, C.J. 1991.** Beneficial elements, functional nutrients and possible new essential elements. *Micronutrients in Agriculture*, 2<sup>nd</sup> ed”. (Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., Welch, R.M., eds) 703-723. *SSSA Book Series No. 4. Madison, W.I. U.S.A.*



**Aşık, Ş., Avcı, M., Balcı, A. 1997.** Atıksuların Sulamada Kullanım Stratejileri. 6. *Ulusal Kültürteknik Kongresi, 5-8 Haziran 1997, Bildiriler Kitabı, Bursa, 564-576.*

**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. 879/244*

**Belaid, N., Neel, C., Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A., Baudu, M. 2012** Long term effects of treated wastewater irrigation on calcisol fertility: A case study of Sfax-Tunisiaa *N. Belaid et al. / Agricultural Sciences, 3:* 702- 713

**Bollard, E.G. 1983.** Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. *Encyclopedia of Plant Physiology, New Serries (Lauchli A. and Bieleski R.L., eds), 15B:* 695-755. *Springer-Verlag, New York.*

**Bouyoucos, G.J. 1951.** A recalibration of the hidrometer for marking mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal, 43:* 434-437.

**Bratby, J. 2006.** Coagulants, in *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. 2nd ed., IWA Publishing, London, 50-68.*

**Bremmer, 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.

**Büyükkamacı, N. 2009.** Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım. *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, İzmir, 363-377*

**Çay, Ş. 2013.** Konya Kentsel Atıksuların tarımsal sulamada kullanılması ve mısır bitkisi yetiştiriciliğine etkileri. *Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstütüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.*

**Day, A.D., Tucker, T.C. 1977.** Effects of Treated Municipal Waste Water on Growth, Fiber, Protein, and Amino Acid Content of Sorghum Grain. *JEQ 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 evre Dergisi* 12(48): 1-3.

**FAO, 1990.** Micronutrient, Assessment at the Country Level: An International Study. *FAO Soil Bulletin by Sillanpaa. Rome.*

**Fathi, H., Mirzanejad, M. 2014.** Effects of wastewater irrigation on the growth of two bean spices and soil chemical properties under greenhouse conditions. *American Journal of Agriculture and Forestry* 2(3): 88-93.

**Fiedler, H.J. 1990.** Bodennutzung und Bodenschutz. *Birkhauser Verlag, Basel-Boston-Berlin*, 268 p.

**Güneş, A., M. Alpaslan, A., İnal, 2000.** Bitki Besleme ve Gübreleme. *Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Yayın No: 1514 Ders Kitabı*, s.467.

**Gwenzi W., Munondo R. 2008.** Long-term impacts of pasture irrigation with treated sewage effluent on nutrient status of a sandy soil in Zimbabwe. *Nutr Cycl Agroecosyst*,82(2): 197-207.

**Haviland, W.A. 2002.** Kültürel Antropoloji (ev: Hüsamettin İna, Seda ifti). *No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: Kaktüs Yayınları.*

**Horneck, D.A., Hanson, D. 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., Johnson, W.C. 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., Mills, H.A. 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., Pendias, A.H. 1992.** Trace elements in soils and plants, *CRC Press Inc., Florida*, 365 pp.
- Kacar, B., İnal, A., 2010.** Bitki Analizleri. *Yayın No:1241, Nobel Yayın Dağıtım, Fen Bilimleri:63, Ankara*, 319-346.
- Kacar, B., Katkat, A.V., Öztürk, Ş. 2010.** Bitki Fizyolojisi. *Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, 4. Basım, Ankara*, 556 s.
- Kacar, B., Katkat, A.V. 2009.** Bitki Besleme. *Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, 4. Basım, Ankara*, 659 s.
- Kacar, B. 2012.** Toprak Analizleri. *Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Ankara*
- Kalavrouziotis, I.K., Robolas, P., Koukoulakis, P.H., Papadopoulos, A.H. 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.
- Katkat, A.V., Özgümüş, A., Tümsavaş, Z., Çil, N., Korkmaz, C., Başar, H. 1996.** Gemlik Gübre Sanayi A.Ş. Atık Sularının Tarımda Kullanılma Olanakları. *TÜBİTAK Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 20: 507-514.
- Khai, N.M., Tuan, P.T., Vinh, N.C., Oborn, I. 2008.** Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri-urban agricultural systems. *V.N.U. J. Sci., Earth Sci.*, 24: 87-95.
- Khaskhoussy, K., Hachicha, M., Kahlaoui, B., Messoudi-Nefzi, B., Rejeb, A., Jouzdan, O., Arselan, A. 2013.** Effect of treated wastewater on Soil and Corn Crop in the Tunisian Area. *J. Appl. Sci. Res.*, 9(1): 132-140.

**Kocaer, F.O., Başkaya, H.S. 2004.** Bursa İlinde Nilüfer-Ayvalı Deresiyle Sulanan ve Sulanmayan Tarım Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri. *Ekoloji* 13(51): 33-38.

**Kudal, M., Müftüoğlu, N.M. 2014.** Kentsel Atıksu ile Sulanan Topraklarda Bazı Verimlilik Özelliklerinin İncelenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2(1): 77-81.

**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

**Lott, W.L., Gallo, J.P., Meaff, J.C. 1956.** Leaf Analysis Tecnique in Coffe Research, *Ibec. Research Inc.* 1-9: 21-24.

**Mañas, P., Castro, E., Heras, J.D.L. 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.

**Masona, C., Mapfaire, L., Mapurazi, S., Makanda R. 2011.** Assessment of Heavy Metal Accumulation in Wastewater Irrigated Soil and Uptake by Maize Plants (*Zea Mays* L) at Firle Farm in Harare. *Journal of Sustainable Development* 4(6): 132-137.

**Mclean, E.O. 1982.** Soil pH and Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis, 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., Kirkby, E.A. 2001.** Principles of plant nutrition. *Kluwer Academic Publishers, Netherlands*, 849 pp.

**Meneses, M., Pasqualino, J.C. ve Castells, F. 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.

**Mojiri, A. 2011.** Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. *J. Biol. Environ. Sci.*, 5(14): 71-76.

**Nelson, D.W., Sommers, L. 1982.** Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological 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., Dean L. 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular, 939, US Gov. Print. Office, Washington, D.C.*

**Onbaşı A.N. 2007.** Endüstriyel Atıksuların Yeniden Kullanımının Değerlendirilmesi: Entegre Et Tesisi Atıksuları. 7. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 502-510.*

**Özsoy, G. 2001.** Uludağ Üniversitesi Kampus alanı Topraklarının Genesisi ve Sınıflandırılması. *U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.*

**Rana, L., Dhankhar, R., & Chhikara, S. 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., Johnson, B. 1983.** Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 14: 1207-1215.*

**Sarıkaya H.Z., Meriç S, Yılmaz E., Toröz İ. 1996.** Organize Sanayi Bölgelerinde Arıtma Tesisi Maliyet Tahmini ve Katılım Paylarının Belirlenmesi. *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi 6(3): 43-51.*

**Sauerbeck D. 1985.** Funktionen, Güte and Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht. *Kohlhammer, Stuttgart.*

**Schutte C.F. 1982.** Water Recycling for Domestic and Agricultural Applications. *State of the Art Water Science & Technology*, 14 (9-11):1447-1463.

**Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F. 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., Jaradat, A., 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., V. Hotea, V. Oros, J. Juhasz, 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.

**Soil Survey Staff, 1951.** Soil Survey Manual. US Dept. Agriculture Handbook 18, US Government Printing Office, Washington, DC., pp: 503

**Tan, A. 2006.** Atıksularda Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 83s.

**Thapliyal, A., Vasudevan, P., Dastidar, M.G., Tandon, M., Mishra, S. 2012.** Effects of Irrigation with Domestic Wastewater on Productivity of Green Chili and Soil Status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44: 2327–2343.

**Toze, S. 2006.** Reuse of Effluent Water-Benefits and Risks. *J. of Agricultural Management*, 80:147-159.

**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., Mobli, M., 2005.** Effect of sewage sludge on some nutrients concentration and soil chemical properties. *Journal of Isfahan Water and Wastewater*, 53: 15-19 (in Persian).

**Yadav RK, Goyal B, Sharma R.K., Dubey S.K., Minhas P.S. 2002.** Post-irrigation Impact of Domestic Sewage Effluent on Composition of Soils. *Crops and Ground Water A Case Study. Environment International* 28, 481-486.

**Watanabe, F.S., Olsen, S.R. 1965.** Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Science Soc. Am. Proc.*, 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.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Fatih AKIN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 01/01/1986  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Hürriyet Lisesi

Lisans : Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat  
Mühendisliği Toprak Bilimi ve Bitki Besleme  
Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

İletişim (e-posta) : hfa@czell.net

Yayımları :

Akın, H.F. ve Aşık B.B. (2015) Nilüfer Çayı ve farklı arıtma tesisleri atıksularının, toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. TMMOB ÇMO 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 15-17 Ekim 2015, Bursa