



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMA  
SUYU OLARAK YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

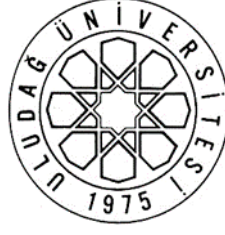
**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÖZNUR ÖNEN ACAR**

**Bursa  
2018**



**EVSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMA SUYU OLARAK  
YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ÖZNUR ÖNEN ACAR**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMA SUYU OLARAK  
YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Öznur ÖNEN ACAR**

DOÇ. DR. F. OLCAY TOPAÇ ŞAĞBAN  
(DANIŞMAN)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa-2018

### TEZ ONAYI

Öznur ÖNEN ACAR tarafından hazırlanan "Eysel Nitelikli Artılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. F. Olcay Topaç Sağban

**Başkan** : Doç. Dr. F. Olcay Topaç Sağban  
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Selnur Uçaroğlu  
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Aşkın Bigül  
Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

İmza

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

  
Prof. Dr. Ali BAYRAM  
Enstitü Müdürü  
12/03/2018

## Bilimsel Etik Bildirim Sayfası

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

- 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.**

**01.01.2018**

**Öznur ÖNEN ACAR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### EVSEL NİTELİKLİ ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMA SUYU OLARAK YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Öznur ÖNEN ACAR**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. F. Olcay Topaç Şağban

Bu çalışmanın amacı; kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksularının biyolojik arıtma ünitelerinde arıtıldıktan sonra derin deşarj ile denize verilmeden önce yeniden kullanım imkanlarını değerlendirmektir. Bu amaçla atıksuyun su kalitesi belirlenerek sulama suyu olarak kullanımının uygunluğu değerlendirilmiştir. Buna göre paket atıksu arıtma sistemi çıkışından farklı dönemlerde (Ocak, Nisan, Ağustos) üç atıksu örneği alınmış ve belirlenen sulama suyu parametrelerinin analizleri yaptırılmıştır.

Analizlerin sonuçları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği kapsamında değerlendirilmiştir. Sulama suyu parametrelerinden elektriksel iletkenlik ve değişebilir sodyum yüzdesi değerleri standartlar doğrultusunda çıkmıştır.

Sodyum absorpsiyon oranı, sodyum karbonat kalıntısı, klorür, sülfat, kalsiyum, potasyum, sodyum, toplam tuz konsantrasyonu ve sulama suyu sınıfı açısından arıtma sistemi çıkışından alınan tüm numunelerin C3S1 (Kullanılabilir) sulama suyu sınıfında olduğu ve ölçülen bu değerlerin dönemsel değişiklik göstermediği istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama amaçlı kullanılmasının Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan belirli sulama suyu kalite kriterleri uyarınca uygun olduğu yönündedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su kirliliği parametreleri, sulama suyu kriterleri, arıtılmış atıksu

**2018, viii + 117 s**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **EVALUATION of THE REUSE of TREATED DOMESTIC WASTEWATER AS IRRIGATION WATER**

**Öznur ÖNEN ACAR**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Doç. Dr. F. Olcay Topaç Şağban

The purpose of this study is to evaluate the reuse alternatives of treated domestic wastewater before being released by deep discharge of a cable-producing plant. For this purpose, water quality of wastewater has been determined and its suitability as irrigation water has been evaluated. According to this, three wastewater samples have been collected at different periods (January, April, August) from the exit of the package wastewater treatment system and irrigation water parameters have been analyzed.

Results of analysis have been evaluated within the context of “Water Pollution Control Regulation Directive for Technical Procedures”. Out of irrigation water parameters; electrical conductivity and changeable sodium percentage values are in line with standards. All samples obtained from the exit of the package wastewater treatment system are C3S1 (Usable) such as sodium absorption rate, sodium carbonate residue, chloride, sulfate, calcium, potassium, sodium, total salt concentration, pH and irrigation class. These values measured to have no change according to seasons.

The result of the research has showed that the reuse of the treated domestic wastewater for the purpose of agricultural irrigation is suitable for definite parameters according to the standards.

**Key Words:**Water pollution parameters, irrigation water criteria, treated wastewater

**2018, viii + 117 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam sürecince sağladığı bilimsel katkıları, titizliği, sabrı, güleryüzü ve anlayışı ile her daim yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. F. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında benimle beraber olan ve yardımını esirgemeyen en büyük destekçim, sevgili eşim Mesut ACAR'a, aileme, farklı şehirlerde yaşasak dahi manevi destekleriyle her an yanımda olduklarını hissettiğim çok değerli dostlarım Ceren Serap AKIN, Nevin ULU DOĞAN ve Lütfiye HACIOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Öznur ÖNEN ACAR

01/01/2018



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	9
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Arıtılmış Atık Suyun Yeniden Kullanılma Alternatifleri .....	4
2.1.1. Kentsel Geri Kullanım .....	7
2.1.2. Endüstriyel Kullanım .....	9
2.1.3. Yeraltı Suyu Beslemesi.....	11
2.1.4. Tarımsal / Sulamada Kullanım.....	14
2.2. Arıtılmış Atık Suyun Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanımına İlişkin Yapılan Çalışmalar .....	15
2.3. Sulama Sularının Kalitesi ve Bu Kaliteye Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi.....	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal .....	39
3.1.1. Araştırma Alanı.....	39
3.1.2. Arıtma Sistemi ve Çalışma Şekli .....	47
3.2. Yöntem.....	48
3.2.1. Numune Alma.....	48
3.2.2. Kimyasal Analizler.....	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	54
4.1. pH.....	54
4.2. Elektriksel İletkenlik .....	56
4.3. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na).....	59
4.4. SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı) .....	61
4.5. Sodyum Karbonat Kalıntısı.....	63
4.6. Klorür .....	65
4.7. Sülfat .....	67
4.8. Karbonat.....	69
4.9. Bikarbonat .....	70
4.10. Kalsiyum .....	72
4.11. Magnezyum.....	73
4.12. Sertlik.....	75
4.13. Potasyum .....	78
4.14. Sodyum .....	79
4.15. Katyonlar toplamı.....	81
4.16. Ağır Metal ve Toksik Elementler.....	82
4.17. Tuzluluk (Toplam Tuz Konsantrasyonu).....	83

4.18. Amonyum.....	86
4.19. Nitrat .....	88
4.20. Sulama Suyu Sınıfı.....	90
5. SONUÇ .....	95
KAYNAKLAR .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	105



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
dS/m	desiSiemens/metre
m <sup>3</sup>	Metre küp
µS/cm	Mikrosiemens/santimetre
meq/L	Miliekivalan / Litre
mg/L	Miligram/litre
mmhos/cm	Milimikrohos/cm
°C	Santigrad derece
%	Yüzde

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
NH <sub>4</sub> -N	Amonyum azotu
AKM	Askıda katı madde
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
N	Azot
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
B	Bor
ESP	Değişebilir Sodyum Yüzdesi
Fe	Demir
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı
EC	Elektriksel iletkenlik
PO <sub>4</sub> -P	Fosfat fosforu
P	Fosfor
Fr°	Fransız sertlik derecesi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
Ca <sup>++</sup>	Kalsiyum
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Karbonat
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
Cl <sup>-</sup>	Klorür
Mg <sup>++</sup>	Magnezyum
NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Nitrat
NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	Nitrit
OSB	Organize Sanayi Bölgesi

**Kısaltmalar****Açıklama**

K <sup>+</sup>	Potasyum
Na <sup>+</sup>	Sodyum
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
RSC	Sodyum Karbonat Kalıntısı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Sülfat
TASS	Tarımsal amaçlı sulama suyu
TÇM	Toplam çözünmüş madde
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Atıksu arıtma tesisi akım şeması .....	39
Şekil 3.2. Arıtma sistemi ve çalışma şekli .....	40
Şekil 3.3. Atıksu arıtma tesisisi.....	41
Şekil 3.4. Çökeltim havuzları.....	42
Şekil 3.5. Çökeltim havuzu .....	42
Şekil 3.6. Çökeltim havuzu .....	43
Şekil 3.7. Dinlenmeye bırakılan atıksu .....	44
Şekil 3.8. Çamur kurutma yatakları genel görünümü .....	45
Şekil 3.9. Çamur kurutma yatakları genel görünümü .....	45
Şekil 3.10. Çamur kurutma yatakları detay görünümü .....	46
Şekil 3.11. Klorlama tankı .....	46
Şekil 3.12. İyon (anyon) kromatografi cihazı .....	50
Şekil 3.13. İyon (katyon) kromatografi cihazı .....	51
Şekil 4.1. pH değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları .....	55
Şekil 4.2. Elektriksel iletkenlik değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları .....	57
Şekil 4.3. Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları .....	59
Şekil 4.4. Sodyum absorpsiyon oranı değişimi grafiği ve standart sapmaları .....	61
Şekil 4.5. Sodyum karbonat kalıntısı değişimi grafiği ve standart sapmaları .....	64
Şekil 4.6. Klorür iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları .....	66
Şekil 4.7. Sülfat iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları .....	68
Şekil 4.8. Bikarbonat iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları .....	70
Şekil 4.9. Kalsiyum değişim grafiği ve standart sapmaları.....	73
Şekil 4.10. Magnezyum değişim grafiği ve standart sapmaları .....	74
Şekil 4.11. Sertlik değişim grafiği ve standart sapmaları.....	77
Şekil 4.12. Potasyum değişim grafiği ve standart sapmaları .....	78
Şekil 4.13. Sodyum değişim grafiği ve standart sapmaları.....	80
Şekil 4.14. Katyonlar toplamı değişim grafiği ve standart sapmaları .....	82
Şekil 4.15. Toplam tuz konsantrasyonu değişim grafiği ve standart sapmaları.....	84
Şekil 4.16. Amonyum değişim grafiği ve standart sapmaları .....	87
Şekil 4.17. Nitrat değişim grafiği ve standart sapmaları.....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Dünya çapında atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler ve uygulanan teknolojiler .....	6
Çizelge 2.1. Dünya çapında atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler ve uygulanan teknolojiler (devam) .....	7
Çizelge 2.2. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması .....	27
Çizelge 2.2. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (devam) .....	28
Çizelge 2.3. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo .....	29
Çizelge 2.4. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri .....	30
Çizelge 2.5. Sulama sularının izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları .....	32
Çizelge 2.6. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l).....	33
Çizelge 2.7. Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar .....	33
Çizelge 2.8. Endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu .....	34
Çizelge 2.9. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler .....	35
Çizelge 2.10. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağını gösteren tablo (- işaret suyun kullanılamayacağını, + işaret ise kullanılabilirliğini gösterir) .....	35
Çizelge 2.11. Bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması .....	36
Çizelge 2.12. Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler .....	37
Çizelge 4.1. SKKY teknik usuller tebliğine göre pH değeri.....	55
Çizelge 4.2. SKKY teknik usuller tebliğine göre EC değeri .....	57
Çizelge 4.3. SKKY teknik usuller tebliğine göre sodyum yüzdesi değeri.....	60
Çizelge 4.4. SKKY teknik usuller tebliğine göre sodyum absorpsiyon oranı .....	62
Çizelge 4.5. SKKY teknik usuller tebliğine göre RSC değeri .....	64
Çizelge 4.6. SKKY teknik usuller tebliğine göre klorür değeri.....	66
Çizelge 4.7. SKKY teknik usuller tebliğine göre sülfat değeri.....	68
Çizelge 4.8. FAO standartlarına göre tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterleri.....	71
Çizelge 4.9. Litredeki kalsiyum karbonata göre sulardaki sertliğin sınıflandırılması .....	75
Çizelge 4.10. Fr° 'ye (Fransız sertlik derecesi) göre suların sınıflandırılması .....	76
Çizelge 4.11. AAT teknik usuller tebliğine göre sulama suyundaki sodyum değeri.....	80
Çizelge 4.12. SKKY teknik usuller tebliğine göre toplam tuz konsantrasyonu değeri .....	84
Çizelge 4.13. SKKY teknik usuller tebliğine göre amonyum değeri.....	87
Çizelge 4.14. SKKY teknik usuller tebliğine göre nitrat değeri .....	89
Çizelge 4.15. Numunelerin sulama suyu sınıfları .....	92
Çizelge 4.16. SKKY teknik usuller tebliğine göre sulama suyu sınıfı .....	92

### 1.GİRİŞ

Su, yaratılması, yok edilmesi zor olan ve yenilenebilen bir kaynaktır. Yeryüzünün toplam su potansiyeli  $1\ 606 \times 10^6$  km<sup>3</sup>'tür. Bunun  $220 \times 10^6$  km<sup>3</sup>'ü kimyasal bağlı su,  $1\ 386 \times 10^6$  km<sup>3</sup>'ü ise serbest sudur. Serbest suyun % 96,5'i okyanuslarda, % 1,76'sı kutuplarda ve buzullarda, % 0,77'si ise tatlı su durumunda bulunmaktadır. Ülkemizdeki toplam su potansiyeli 106,6 km<sup>3</sup> olup, bunun 95 km<sup>3</sup>'ünü yüzey su potansiyeli, 11,6 km<sup>3</sup>'ünü yeraltı su potansiyeli oluşturmaktadır.

Nüfusun hızla artması ve dolayısıyla içme, sanayi, kullanma ve tarımsal suyu taleplerinin de artması ile su kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün hızla artmaktadır. Bu nedenle tarım alanlarının kullanılması ve tarıma açılacak başka alan kalmayışı nedeni ile birim alandan alınan verimin artırılması gerekmektedir. Bu nedenle suyun etkin bir biçimde kullanılması ve sudan tasarruf edilerek kalitesinin korunması gerekmektedir (Karadavut 2009).

Nüfusun artmasıyla atık suyun artış gösterdiği alanlar kentsel yerleşim alanlarıdır. 2030 yılında genel nüfusun çoğunun şehirlerde yaşayacağı düşünüldüğünde, atık su miktarının da giderek artacağı var sayılabilir. Atıksular, geri kazanılma fırsatları ele alınmadan ya da değerlendirilmeden direk alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Hâlbuki atık suyun arıtılması durumunda, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı desteklenmiş olur. Kaliteli kaynakların içilebilir su olarak kullanımı için ve su kıtlığına çözüm olabilmesi adına atıksu önemli bir kaynaktır (Bozdoğan 2009).

Günümüzde su kaynakları giderek azalmakta ve kısıtlı kullanım gerektirmektedir. Dolayısıyla arıtılmış atıksuların, içme suyu niteliğindeki sular yerine sulama suyu olarak kullanılması gerekmektedir. Atıksuların sulamada kullanımı yıllardır uygulanmaktadır ancak günümüzde su kaynaklarını daha kısıtlı kullanmamız gerektiği için bu uygulama çok daha fazla önem kazanmıştır (Karataş 1999).

Verimli şekilde işletilen arıtma tesislerinde dahi, ham atık sularda patojen mikroorganizma konsantrasyonları azaltılsa da tamamen giderilememektedir. Dolayısıyla bu sular dikkatli

bir şekilde sulamada kullanılmalıdır. Çünkü bu sularda bulunan patojenler su, toprak ve bitkiler üzerinde oldukça uzun süre yaşayabilirler (Pescod 1992).

Atık su ile sulama yapılacak alanlarda, özellikle drenajı kötü topraklarda uzun süre sulama yapılırsa bu topraklarda tuzluluk ve ağır metal birikimi meydana gelir. Dolayısıyla toprak analizlerinin periyodik bir şekilde yapılması, topraktaki olası olumsuz değişimlerin görülmesini sağlayacaktır (Büyükkamacı 2008). Bu alanlarda yeraltı suyunda kirliliğin oluşmaması adına gerekli önlemler alınmalı ve özellikle Azot (N), Fosfor (P) ve ağır metal değerleri yeraltı suyunda izlenmelidir (Tarı 2011).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Madde 28`de belirtildiği üzere özellikle sulama sularının az olduğu ve ekonomik anlamda değerli olan bölgelerde sulama suyu kalite kriterlerini sağlayan arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması teşvik edilir (Anonim 2004a). SKKY Teknik Usuller Tebliği`nde arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı sulama suyu (TASS) olarak kullanılması için gerekli kalite parametreleri beş farklı sınıfta değerlendirilmiştir (Anonim 1991).

Bu çalışmada kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksuları ele alınmıştır. Bu atıksu örnekleri SKKY alıcı ortam deşarj kriterleri sağlayan biyolojik arıtma ünitelerinden oluşan arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Ancak bu atıksuyu tekrar kullanım imkânları değerlendirilmeden deşarj edilmektedir. Bu çalışmanın amacı bu atıksuyun kalitesini ortaya koymak ve sulama açısından değerlendirmektir.



## **2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Artan nüfus, yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi ve periyodik kuraklıklar, arıtılmış atıksularının faydalı bir şekilde kullanılmasına yönelik çalışmalara ve yaklaşımlara ön ayak olmuştur. Var olan su kaynaklarının kirletilmemesi ve su tasarrufu başta gelen çözüm önerilerindedir. Bir diğer çözüm önerisi ise kullanılmış suların arıtılarak yeniden kullanılmasıdır. Azalan tatlı su kaynakları nedeniyle atık suların arıtılması zorunlu hale gelmektedir

([http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/iozbay/bildiri/iozbay18.08.2010\\_14.01.00bildiri.pdf](http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/iozbay/bildiri/iozbay18.08.2010_14.01.00bildiri.pdf), 2015).

Kurtkulak (2014) tarafından bildirildiğine göre; Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda açıklamalar mevcuttur. Buna göre; ilgili maddede atıksuların arıtılması sonrasında tarım ve sanayide yeniden kullanılması ile yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmeden korunması konularına yer verilmiştir. Aynı şekilde 10. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda da arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda açıklamalar mevcuttur. Buna göre; ilgili maddede arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı özendirmek için şehirlerde kanalizasyon ve atıksu arıtma altyapısı geliştirilerek bu altyapıların belirlenen deşarj standartlarına göre çalıştırılmaları sağlanacaktır.

### **2.1. Arıtılmış Atık Suyun Yeniden Kullanılma Alternatifleri**

İçme suyu hariç diğer tüm kullanımlar için yeterli kalitede su üretilmesi amacıyla atıksu arıtma tesisleri ve bu atıksuların yeniden kullanılma uygulamaları değerlendirilmektedir. Tatlı su kıtlığını ortadan kaldırmak için de arıtılmış atıksuların içme suyu dışındaki kullanımları teşvik edilmelidir. Buna göre; arıtılmış atıksular; sulama suyu, endüstriyel uygulamalar, yüzey sularına verme ve yer altı sularına deşarj, rekreasyon, temizlik gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Meneses ve ark. 2010).

Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılma alternatifleri olarak, doğrudan tarımsal geri kullanım, doğrudan endüstriyel geri kazanım, yeraltı suyu geri beslemesi, kentsel geri kullanım ve içilebilir geri kullanım sayılabilmektedir (Anonim 2011a).

Bixio ve ark. (2006), Avrupa'da son yıllarda artan su kıtlığı ve su kalitesindeki bozulmalar nedeniyle arıtılmış atık suyun yeniden kullanım alternatiflerini değerlendirerek ilgili uygulamaları belirtmişlerdir. Ancak bunun için daha net kurumsal düzenlemeler, teknolojik gelişmeler ve yenilikler ile yeniden kullanım ilkelerinin ortaya konulması gerektiği bildirilmiştir.

Bozdoğan (2009) tarafından bildirildiğine göre; atık suyun yeniden kullanım uygulamalarının en fazla olduğu ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Örneğin 2001 yılında Florida'da evsel atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atık sular; park, bahçe gibi alanlarda, tarımsal uygulamalarda, yüzey suyu akışının arttırılmasında, endüstriyel uygulamalarda ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır (SFWMD 2002). Güney Florida'da ise 42 000 ev bahçesi, 141 golf alanı, 67 park ve 13 okul bahçesinin sulanmasında 2 614 250 m<sup>3</sup>/gün arıtılmış atıksu kullanılmaktadır (FDEP 2002).

Orta doğu ülkelerinin çoğunda arıtılmış atıksuların yeniden kullanım uygulamaları artsa da çok eskiden beri kanalizasyon deşarjları tarımda kullanılmaktadır. O dönemlerde bazı şehirlerde arıtılmamış sular temiz sular ile karıştırılmış ve meyve, sebze sulamasında kullanılmıştır. Teknolojik olarak arıtılmış atıksuların kullanımı ise 1950'li yıllarda Kuveyt'te başlamıştır. Sonra ki yıllarda da diğer ülkelerde devam etmiştir. Bu gelişimde FAO'nun önemli bir etkisi olmuştur. FAO atık su arıtım teknolojisini tanıtmış ve ulusal kapasitenin geliştirilmesini desteklemiştir.

Kuveyt, Ürdün, Körfez ülkeleri, Suudi Arabistan, Kıbrıs gibi ülkeler arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili ulusal bir politikaya sahiptirler ve bu amaç doğrultusunda da önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir. Bu bölgedeki gelişmekte olan ülkeler ise maliyeti fazla

olmayan stabilizasyon havuzları gibi yöntemleri kullanmaktadırlar (<http://www.fao.org/3/a-ae528e.pdf>, 2015).

Kaliforniya’da yaklaşık 14 800 l/s atık su arıtılarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar; tarımsal alanlar (%48), kentsel alanlar (%20), endüstriyel kullanım (%5), yüzey suyuna ekleme (%12), deniz suyu bariyeri olarak (%3), rekreasyonel alanlar (%4), habitat restorasyonu (%6) ve diğer kullanım alanlarıdır (%2) (Anonim 2004b).

Atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler, geri kazanım metodları ve uygulama alanları Çizelge 2.1’de genel hatlarıyla bildirilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Dünya çapında atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler ve uygulanan teknolojiler (Kurtkulak 2014)

Ülke	Geri Kazanım Metodu	Uygulama Sahası
<b>Japonya</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Tuvalet temizliği, sulama, endüstriyel kullanım, genel temizlik, kar ertime suyu
<b>Fransa</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Tarım arazilerinin sulanması
<b>Mısır</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Tarım arazilerinin sulanması
<b>Brezilya</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Endüstriyel kullanım, tuvalet temizliği, yeşil alanların sulanması
<b>Belçika</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Endüstriyel kullanım
	Konvansiyonel arıtma çıkışında mikrofiltrasyon ve R.O sistemi	İçme suyu olarak kullanım
	Kum filtresi, mikrofiltrasyon ve R.O. (planlama aşamasında)	Tekstil endüstrisine su temini için konvansiyonel arıtma çıkış sularına
<b>Arjantin</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Tarım arazilerinin sulanması
<b>Avustralya</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Kentsel yeşil alan sulanması, yol ve cadde temizliği, tuvalet temizliği

**Çizelge 2.1.** Dünya çapında atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler ve uygulanan teknolojiler (devam) (Kurtkulak 2014)

<b>Ülke</b>	<b>Geri Kazanım Metodu</b>	<b>Uygulama Sahası</b>
<b>Çin</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Endüstriyel kullanım
<b>İran</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri	Tarım arazilerinin sulanması
<b>İtalya</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemlerine ilave olarak bazı şehirlerinde uygun şekilde arıtılmamış su da geri kazanımda kullanılıyor	Tarım arazilerinin sulanması
	Filtrasyon ve klorlama ile üçüncül arıtma	Endüstriyel ve tarımsal kullanım
<b>İspanya</b>	Koagülasyon, flokülasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon	Yeşil alanların sulanması, caddelerin temizliği, yangın söndürme
<b>Meksika</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemlerinin ardından koagülasyon, flokülasyon ve dezenfeksiyon	Tarım arazilerinin sulanması, araç yıkama, genel temizlik, yeşil alanların sulanması, soğutma kulelerinde make-up suyu olarak
<b>Fas</b>	Stabilizasyon havuzlarıyla konvansiyonel arıtım sonrası dezenfeksiyon	Golf sahalarının sulanması
<b>Suudi Arabistan</b>	Aktif çamur tesisinden sonra filtrasyon ve dezenfeksiyon	Tarım arazilerinin sulanması
<b>B. Arap Emirlikleri</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemlerinin ardından kum filtrasyonu ve klorlama	Tarım arazilerinin sulanması
<b>Singapur</b>	Konvansiyonel arıtma yöntemleri + R.O + U. V	İçme suyu sistemine karıştırarak kullanım

### 2.1.1. Kentsel Geri Kullanım

Tarı (2011) tarafından bildirildiğine göre; içme suyu kalitesindeki sular, içme suyunun dışında aşağıda belirtilen durumlar için de kullanılmaktadır. Belirtilen alanlarda arıtılmış

atık suların kullanılması içme ve kullanma amacıyla ayrılan su kaynaklarının korunmasında önem taşımaktadır.

- Park, rekreasyon ve peyzaj alanlarının sulanması,
- Araç yıkama, pencere temizleme,
- Şehirlerdeki havuz, şelale gibi alanların su ihtiyacının karşılanması,
- İnşaat beton yapımı için su kullanılması,
- Yangın söndürme suyu,
- Binalarda tuvalet suyu,
- Golf sahalarının sulanması (U.S.EPA 1992).

Avrupa su kaynakları bakımından zengin olsa da son yirmi yıl içerisinde su kıtlığı ve su kalitesindeki bozulmalar gibi büyüyen bir su sıkıntısı ile karşı karşıyadır. Bu durum belediyeleri su kaynaklarını daha verimli kullanma arayışlarına itmiştir. Dolayısıyla da daha yaygın kabul gören suyun yeniden kullanılması uygulamaları kapsam içine alınmıştır.

Arıtılmış atıksuların Kuzey ve Güney Avrupa'daki kullanım alanları bir birinden farklıdır. Güney Avrupa'da ağırlıklı olarak tarımsal sulamalarla birlikte (projelerin %44'ü), kentsel ve çevresel uygulamalarda (%37) kullanılmaktadır. Kuzey Avrupa'da ise ağırlıklı olarak kentsel ve çevresel uygulamalarda (projelerin %51'i) ya da endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır (projelerin %33'ü) (Bixio ve ark. 2006).

Japonya'da arıtılmış atık su parklar, golf alanları, havuz suları, göller, fiskiyeler, yol temizleme, araba yıkama ve yangın söndürme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Anonim 2004b).

Arıtılmış atık suyun yol temizliği, araba yıkama gibi kentsel alanlarda yeniden kullanımı ile ekonomik fayda sağlanmış olmaktadır (Lyu ve ark. 2016).

Kıbrıs'ın Limasol kentinde yapılan bir çalışmada 3 500 000 m<sup>3</sup>/yıl kapasiteli atıksu arıtma tesisinden çıkan sular, kum filtresi ve klorlama işlemleri uygulanarak, maksimum 10 mg/lit BOİ<sub>5</sub> ve 10 mg/lit askıda katı madde (AKM) çıkış değerlerine ulaşmış ve park, golf sahası sulamasında kullanılmıştır (Papaiacovou 2001).

Kalavrouziotisa ve Apostolopoulos (2007), yaptıkları çalışmada arıtılmış atık suyun bitki, yeşillik ve ağaçlık alanların çevresel dizaynında yeniden kullanılmasına değinmişlerdir. Çalışmalarının ismi “Kentsel Alanlardaki Arıtma Tesisinden Elde Edilen Arıtılmış Atık Suyun Yeniden Kullanımı için Tamamlanmış Çevre Planı” dır. Bu çalışmanın uygulanabilir olması için, arıtılmış evsel atık suyun sulama amaçlı yeniden kullanımı ve atık su ile sulamaya dayanaklı türlerin kullanıldığı çevreyle dost dış mekanların dizaynı oldukça önemlidir. Bu planın hayata geçebilmesi için atık suyun tüm özelliklerinin, atık suda bulunan ağır metal miktarının, atıksuyun borularda sebep olduğu aşındırıcı etkinin ve yeniden kullanım olanaklarının sürekli ölçülmesi önemlidir. Bu sistemlerin uygulanması ile birlikte kentsel atık suyun kentsel alanlarda yeniden kullanımı sağlanmış olacak, çevrenin korunmasıyla birlikte gerekli suyun artışı da sağlanmış olacaktır.

Andreadakis ve ark. (2001), Yunanistan'da atık suyun yeniden kullanımı, arıtılmış atık suyun özellikleri ve arıtma tesisleri ile ilgili çalışmalarla Yunanistan'daki kentsel ve tarımsal alanlardaki uygulamaları daha da geliştirmeye çalışmışlardır. Su arıtımındaki teknolojik gelişmelerle birlikte Avrupa'da ki sosyo ekonomik yapının ve çevre yasalarının arttığı bildirilmektedir.

### **2.1.2. Endüstriyel Kullanım**

Arıtılmış atıksu, kullanım yerine göre proses suyu olarak kullanılabilir. Ancak her endüstride proses suyu olarak kullanımı uygun değildir. Mesela; elektronik sanayindeki elektronik ekipmanların yıkanması için neredeyse saf su kalitesinde suya ihtiyaç varken tekstil, kağıt ve metal sanayinde ise orta kalitede suya ihtiyaç vardır. Kağıt sanayini ele alacak olursak; kullanılan geri kazanılmış su kağıdın yapısını ve rengini etkilediği için

kağıdın kalitesine göre su kullanılmalıdır. Kullanılacak suda dikkat edilmesi gereken kirlilik parametreleri özellikle bazı metal iyonlarının varlığı, renk ve AKM'dir (Güneş 2002).

Türkiye'de, sanayi tesislerinden çıkan atıksular arıtılıp tesis içinde yeniden geri devrettirilerek kullanılmaktadır. Marmara Bölgesi'nde sanayi tesisleri diğer bölgelere göre daha fazladır. Kullanılan su oranı da fazla olduğu için su için harcanan maliyet yüksek olmaktadır. Bölgedeki sanayi tesislerinden çıkan atıksuların arıtılıp geri kullanılmasıyla ekonomik fayda da sağlanmış olmaktadır (Anonim 2011b).

Yeniden kullanım olarak arıtılmış atıksular soğutma suyu ve proses besleme suyu olarak Kaliforniya, Arizona, Texas ve Florida gibi bölgelerde de sıklıkla kullanılmaktadır. Arıtılmış atıksular, kül sulamada, baca gazı tesislerinde, petrol rafinerilerinde, kimyasal madde ve metal işleme tesislerinde kullanılmaktadır (Anonim 2004b).

Brezilya'da genellikle endüstri alanında atık suların arıtımı ve bu suların yeniden kullanımı ile ilgili projeler yapılmaktadır. Sao Paulo'da sular arıtıldıktan sonra çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Endüstriyel kullanım olarak: soğutma sistemi, besleme suyu, proses suyu, yerlerin yıkanması ve yeşil alanların sulanmasıdır. Kısıtlı kentsel kullanım olarak; tuvaletler, yerler ve sokakların yıkanması, çeşmeler, havuzlar, şelaleler, kanalizasyon temizliği, beton hazırlanması, spor alanları, park ve bahçelerin sulanması, kısıtlı olmayan kentsel kullanım olarak ise; halka açık olmayan yeşil alanların sulanması, yem bitkileri ve meraların sulanması örnek olarak verilebilmektedir (Anonim 2004b).

İplik üretim tesisindeki atıksuların membran teknolojisi kullanılarak arıtılması ve tesis içinde geri kullanım alternatiflerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre; ilgili ultrafiltrasyon ile biyolojik arıtma tesisinde arıtılan atıksu soğutma kulesinde geri kazanılabilmektedir. Bu su ayrıca iplik üretimine demineralize su sağlayan ters osmoz ünitesi için de besleme suyu olarak kullanılmaktadır. Ancak biyolojik arıtma tesisindeki olası salınımlar dolayısıyla çıkış suyu kalitesi etkilenebilmektedir. Bu da

üretimin bozulması ve ters osmoz sistemindeki membranların tıkanmasına neden olabilmektedir (Büyükdere 2008).

Nanofiltrasyon ve ters ozmos ile atıksuların arıtılarak sulama suyu ve proses suyu olarak yeniden değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu prosesler deniz suyundan içme suyu elde edilmesi de olanak sağlamaktadır (Bixio ve ark. 2006).

Çapar ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, bir halı fabrikasından çıkan asit boyama ve baskı boyama atıksularını membran prosesleri ile boyama işleminde yeniden kullanılacak kaliteye kadar arıtmışlardır. Baskı boyama atıksuları için kimyasal çöktürme işleminin ardından nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon prosesleri denenmiş ve farklı kalitelerde süzüntü suları elde edilmiştir. Asit boyama atıksuları için, mikrofiltrasyon ve nanofiltrasyon işlemi ile yeniden kullanım kriterlerini sağlayan süzüntü suyu kalitesine ulaşmışlardır.

### **2.1.3. Yeraltı Suyu Beslemesi**

Kırsal kesimlerde yerleşim dağınık olduğu için bu gibi yerlerde su ihtiyaçlarının karşılanmasında zorluklar yaşanır. Özellikle bazı kesimlerde su kaynaklarının da yetersiz olması bu zorlukları arttırır. Dolayısıyla yeraltı suları kullanılmaya başlanır ve su seviyeleri zamanla düşerek kıyı alanlarında tuzlanmaya neden olmaktadır.

Çevre sorunlarının artmasıyla su kirliliği de zamanla artacak ve bu da yeraltı sularının önemini arttıracaktır (http://www.megep.meb.gov.tr/mte\_program\_modul/moduller\_pdf/Sular%C4%B1n%20Analiz%20Parametreleri.pdf, 2016).

Yeraltı sularının beslenmesi çok uzun ve yavaş bir süreçtir. Bu suların tüketiminin yeniden dolum oranından çok daha fazla olması yeraltı suyu kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla yeraltı sularının beslenimi zamanla önem kazanmıştır (Asano ve ark. 2004).



Arıtılmış atıksuların toprağın arıtma kapasitesinden yararlanılarak yeraltı sularına beslenmesi ülkemizde fazla kullanılmayan bir yöntem olmakla birlikte, gelişmiş batı ülkelerinde (ABD, Hollanda, Almanya gibi) ise kullanılan bir yöntemdir. ABD’de, 1962’i sonrası arıtılmış atıksuların yer altı sularına beslenmesi çalışmaları başlatılmıştır. 1978’den sonra da bu çalışmalar ilerletilerek, atıksuların içme suyu standartlarına arıtıldıktan sonra yeraltı suyuna beslenmesi şeklinde devam etmiştir (Güneş 2002).

Arıtılmış atıksuyun yeraltı suyuna beslenmesi ile;

- Sahil akiferlerine tuzlu su girişimi engellenmeye çalışılır.
- İçme suyu ya da dışındaki akiferler arttırılmaya çalışılır.
- Daha sonra kullanmak üzere suyun depolanması sağlanmış olur (Anonim 2004a).

Depolamanın da getirdiği bazı avantajlar vardır. Bunlar; akiferlerin doğal arıtma sistemi olarak görev alması ve maliyeti azaltmış olmasıdır. Ayrıca yüzeyde depolanan suların buharlaşması, yosun tutması ve kirlenmesi olasıyken yeraltı depolama ile bu önlenmektedir (Metcalf ve Eddy 2004).

İsrail’deki Dan Bölgesi Atıksu Islahı Projesi ile sekiz şehrin atık suyu arıtılarak bu sular yeraltı akiferinde uzun süre depolanarak İsrail’in güneyinde kalan kurak bölgelerin sulanmasında kullanılmaktadır. Bu şekilde yılda 110 milyon m<sup>3</sup>/su geri kazanılmaktadır. Tesis; oksidasyon havuzları, kimyasal oksidasyon, mekanik-biyolojik arıtma ile arıtılmakta, çıkış suları da toprak – akifer arıtımı ve klorlama ile ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır (uest.ntua.gr/archive/medaware/publications/Aquastress\_cy\_2.ppt, 2016).

Avrupa’da arıtılan atıksuların yeraltı sularına beslenmesi zamanla artmaktadır. Geri devir yöntemiyle kıyı akiferlerinin tuzlanması önlenmek istenmiştir. Bu konuyla ilgili orta ölçekli projeler hali hazırda varken asıl önemli olan iki büyük projeden biri Barcelona’da ve diğeri de Londra’nın kuzeyinde gerçekleştirilmiştir (Bixio ve ark 2006).

Florida' da ise geri kazanılmış suların 70 000 m<sup>3</sup>/gün 'ü içme suyu akiferlerine enjekte edilmektedir (Anderson 2003).

Candela ve ark. (2007), “Arıtılmış Kentsel Atık Suyun Yeniden Kullanımının Toprak ve Yer Altı Suyuna Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi: Girona, İspanya Bir Golf Sahasında Uygulanması” adlı çalışmalarında; kentsel atık suyu golf sahasında sulama amaçlı kullanmışlardır. Farklı zamanlarda stabilizasyon lagünü, yeraltı suyu ve topraktan örnekler alınarak toprak ve akiferin nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Sonuç olarak arıtılmış atık su ile sulamada katyonik değişimden dolayı yeraltı suyunun sertlik derecesi artmıştır. Ayrıca yeraltı suyundaki nitrat konsantrasyonu, elektrik iletkenliği ve klorür içeriği de artış göstermiştir. Bunun yanında akiferde mikrobiyal bir riskin ortaya çıkmadığı belirlenmiştir. Ancak en önemli risk olarak, uzun süreli atıksuyun kullanımı sonucu toprağın tuzlanması ve bununla alakalı olarak da ekimi olumsuz etkilemesi olduğu bildirilmiştir.

Polat (2012) tarafından bildirildiğine göre; arıtılan atıksular doğrudan akifere besleme ve yüzeysel sızma ile yeraltı suyuna beslenmiş olmaktadır.

Yüzeysel sızma en basit ve en çok kullanılan yöntemdir. Yüzeysel sızmada besleme suları doygun olmayan yeraltı suyu zonu boyunca sızdırma havzalarından sızdırılmaktadır. Sızdırma havzaları alanın verimli bir şekilde kullanımına izin verdiği ve basit bir bakım gerektirdiği için suni beslemenin en çok tercih edilen yöntemidir. Doğrudan yeraltı suyu beslemesi ise su akiferinin içine doğrudan enjekte edildiğinde gerçekleşmektedir. Doğrudan enjeksiyonda genellikle oldukça iyi arıtılan geri kazanılmış su doygun yeraltı suyu zonuna, özellikle de yüksek su tutma kapasitesine sahip bir akifere doğrudan enjekte edilmektedir (Asano ve ark. 2004).

Öztürk (2008), bir bira üretim tesisindeki arıtma tesisinin giriş ve çıkış bölümlerinden numuneler alarak analizler yapmış ve bu analiz sonuçlarına göre de arıtılmış atıksuyun yeraltına deşarjının uygunluğunu değerlendirmiştir.

#### **2.1.4. Tarımsal / Sulamada Kullanım**

Mevcut su kaynaklarının azalması tüm dünyayı etkilediğinden, dünyada atıksuların bilhassa sulamada kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır (Al-Shammiri ve ark. 2005).

Atıksuların arıtılarak tarımda kullanılması, sulama amacıyla kullanılacak temiz su kaynaklarını korumaya ve yüzeysel su kaynaklarının da kirlenmesini önlemeye yönelik bir uygulamadır. Ayrıca atıksuların uygun bir yöntemle tarımda uygulanması, bu suların bertaraf edilmesi için iyi bir methodur. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanımı ile toprakta bulunan bitki yetiştiriciliği için gerekli olan mikroorganizmaların aktiviteleri artar, bu atıksularda bulunan azot gibi maddeler sayesinde de tarımsal gübre gereksinimi azalmaktadır (Kukul ve ark. 2007).

Büyükkamacı (2009) tarafından bildirildiğine göre; EPA'ya göre tarımsal amaç için kullanılan su miktarı, toplam tatlı su kullanımının %40'ı olarak bildirilmiştir. Ancak bu değer farklı kaynaklarda %70 olarak bildirilmiştir. Bu oranlara bakıldığında tarımda, arıtılmış atık suların geri kazanılarak kullanılması büyük oranda su korunumunu sağlayacaktır. Ayrıca geri kazanılmış sularda bitki besin maddelerinin de olması, sulama amaçlı kullanımı arttırmaktadır (EPA 1992).

Bira, konserve, gübre ve süt ürünleri gibi endüstriler, atık suları sulama amaçlı kullanılan sektörlerdir. Atıksularında petrol, ağır metal ve toksik madde olan sanayilerin atıksularının ise tarımsal sulamada kullanılması önerilmemektedir (Arceivala 2007).

Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde arıtma tesislerinden çıkan sular önceden değerlendirilmeyorken son zamanlarda site bahçelerinin ve parkların sulanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca stabilizasyon havuzlarında biriktirilerek tarımsal amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Anonim 2011b).

Ürdün’de arıtılmış atıksuyun %100’ü sulamada kullanılırken bu oran Güney Kıbrıs’ta %25 civarındadır. Örneğin Güney Kıbrıs'ın Larnaka kentinde kurulan bir atıksu arıtma tesisinden çıkan sularla yonca ve mısır yetiştirilen tarım arazileri sulanmaktadır (uest.ntua.gr/archive/medaware/publications/Aquastress\_cy\_2.ppt, 2016).

İspanya’da yapılan bir çalışmada ise Valencia civarındaki su sıkıntısını aşabilmek amacıyla belediyelerde atıksuyun geri kazanım oranı arttırılmış ve bu suyun tarımsal sulamada kullanımını sağlamıştır (Munoz ve ark. 2008).

## **2.2. Arıtılmış Atık Suyun Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanımına İlişkin Yapılan Çalışmalar**

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması neticesinde oluşan faydaları özetleyecek olursak;

- Atıksular yüksek oranda bertaraf edilebilir,
- Su kıtlığı çözülebilir,
- İyi kaliteli kaynaklar bu şekilde içme suyu olarak kullanılabilir,
- Ekonomik yarar sağlayabilir,
- Atıksudaki nutrientler, tarımsal ürünler için katkı sağlayabilir (Lubello ve ark. 2004).

Tunus’daki su kıtlığı, tarımsal faaliyetleri kısıtlayan en büyük sıkıntılardan biridir. Arıtılmış atıksuyun tarımda yeniden kullanımı su kıtlığına karşı sürdürülebilir bir çözüm sağlayabilir.

Bedbabis ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada bir zeytin bahçesinde dört yıl boyunca yapılan uygulamaları ve toprağın farklı yöntemlerle sulanmasını ele almışlardır. Bu sulama yöntemleri; toprağı a) yağmurla beslemek b) kaynak suyu ile sulamak ve c) arıtılmış atık su ile sulamaktır. Kaynak suyu ve arıtılmış atıksu ile bahçeye yıllık toplam  $5\ 000\ m^3\ ha^{-1}$  su sağlanmıştır. Çalışmanın başlangıcında ve dört yıl sonra topraktan numuneler alınmış ve numunelerde; elektriksel iletkenlik (EC), pH, katyonlar, klor, sodyum adsorpsiyon oranı

(SAR), organik madde ve sızma oranı hesaplanmıştır. Dört yıl sonunda arıtılmış atıksu ile işlem gören toprakta pH ve sızma oranında önemli ölçüde azalma yaşanırken organik madde, EC ve SAR oranında da artış gözlenmiştir.

İspanya'daki doğal su kaynaklarının %74'ü yüzey suyu, %26'sı ise yer altı sularıdır. Uygulanan yönetmeliklere rağmen, bölgeler arasındaki su kaynaklarının düzensiz dağılımı, İspanya'daki toprakların önemli bir kısmının zarar görmesine neden olmuştur. Bu su kaynakları özellikle kentsel, tarım, sanayi ve soğutma gibi alanlarda kullanılmaktadır. En fazla suyun harcandığı sektör ise tarımdır (24 094 hm<sup>3</sup> / yıl civarında). Bu sebeple İspanya'nın bazı bölgelerinde doğal suların korunması adına tarımda arıtılmış atıksuyun kullanımı büyük önem arz etmektedir.

İspanya'da arıtma tesisleri kurulmaya başlanmış ve ilk kez 1996 yılında Çevre Bakanlığı tarafından arıtılmış atıksu kullanımı ile ilgili yönetmelik taslağı oluşturulmuştur. Günümüzde ise, yılda yaklaşık 346 hm<sup>3</sup> arıtılmış atıksu tarımsal amaçlı kullanılmaktadır (Pedrero ve ark. 2010).

İspanya'nın Almeria kentindeki 32 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli bir atıksu arıtma tesis çıkışındaki sulara hızlı kum filtresi ve ozonlama yapılarak arıtılan su ile 3 000 hektarlık alanda tarımsal sulama yapılmaktadır. Çıkışta elde edilen su karakteristiği ise şöyledir; kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): 20-120 mg/L, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>): 35 mg/L, toplam askıda katı madde: <30 mg/L, toplam koliform: <100 / 100 mL (uest.ntua.gr/archive/medaware/publications/Aquastress\_cy\_2.ppt, 2016).

Yunanistan'daki doğal su kaynakları yaklaşık 14 340 hm<sup>3</sup> kadardır. Yunanistan her 40-45 yılda ciddi anlamda su kaybına maruz kalmakta ve her 5-7 yılda bir de kuraklık nedeniyle su kıtlığı yaşamaktadır. Toplam su talebinin % 83'ü tarımsal sulama için ayrılmaktadır.

Her 5-7 yılda Yunanistan'da görünen kuraklık sorunlarının tekrarlanan etkilerini azaltmak için özellikle Kuzey Yunanistan'da arıtılmış atıksular pamuk ekiminde kullanılmaktadır.

Son yıllarda özellikle tarımsal sulamada atıksuların yeniden kullanımı hız kazanmıştır (Pedrero ve ark. 2010).

Verlicchi ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada; arıtılmış atıksuyun Kuzey İtalya'daki Po Vadisi'nde sulama ve rekreasyon alanı için kullanımını teknik ve ekonomik açıdan değerlendirmişlerdir. Arıtma için harcanacak maliyetler tarımsal, çevresel, finansal ve rekreasyon amaçlı faydaları göz önüne alındığında telafi edilebilir seviyelere inmektedir. Tarımsal fayda olarak, kuraklık zamanlarında bile arıtılmış atıksuyun sürekli kullanılabilir olması söylenebilir. Çevresel fayda olarak da, Po di Volano kanalının yüzey suyu kalitesinin artırılması durumundan bahsedilebilir. Arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak rekreasyon alanlarında kullanılması neticesinde yeşil alanlar artırılmış ve dolayısıyla da insanların eğlenebileceği yerler çoğaltılarak kişisel fayda da sağlanmıştır.

Lubello ve ark. (2004), "Arıtılmış Kentsel Atık Suyun Fidanlıklarda Sulama Suyu Olarak Kullanımı" başlıklı çalışmalarında sulama suyu olarak 3. derecede arıtılmış atık su ve gübreli su kullanıp, süs bitkileri fidanlıklarında bu 3. dereceden arıtılmış atıksuyun kullanılabilirliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Materyal olarak *Cupressus sempervirens*, *Juniperus horizontalis*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Spiraea japonica* ve *Weigelia florida* kullanılmıştır. Bu çalışmada kök, tomurcuk gelişimi ve yaprak alanı kriterleri incelenmiştir. Uygulanan iki sulama suyu karşılaştırıldığında *Myrtus* ve *Juniperus*'un tomurcuk ve genel gelişimlerinde kayda değer bir fark görülmemesine rağmen, kök gelişimlerinde gübreli suya göre daha iyi bir gelişim görülmüştür. *Myrtle*, *Spiraea* ve *Weigelia* 'nun yaprak alanları iki farklı sulama suyu uygulamasından etkilenmemesine rağmen *Arbutus* 'un yaprak alanı arıtılmış atık su uygulamasında daha düşük elde edilmiştir. 3.dereceden arıtılmış atıksuyun sulamada kullanımı, sentetik gübre kullanımını azaltacağı için ekonomi ve çevreye pozitif yarar sağladığı gibi gübre açısından da önemli bir kaynak olarak kabul edilebilmektedir.

Gerhart ve ark. (2006), "Endüstriyel Tuzlu Atık Suyun Çöl Alanında Peyzaj Sulaması İçin Yeniden Kullanımı" adlı çalışmalarını Arizona bölgesinde yürütmüşler ve kurak bölgelerde

yaygın olarak kent peyzajında kullanılan ağaç, çalı ve zemini kaplayan farklı bitki türleriyle çalışmışlardır. Çalışma sonucunda arıtılmış atıksu ile sulanan bu bitkilerin gelişimlerinin tuzluluktan negatif etkilenmediği belirlenmiş, hiçbir bitki yaprağında da tuzluluk zararı görülmemiştir.

Bozdoğan (2009) tarafından bildirildiğine göre; Arjantin’de 20. yüzyılda arıtılmış atık su tarımsal amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Ülke, WHO standartlarına uygun arıtma tesislerinde suları arıtmakta ve büyük oranda orman, bağ, zeytin ve meyve ağaçları gibi alanlar arıtılmış atık su ile sulanmaktadır (Kotlik 1998, EPA 2004).

Avustralya’da ikinci derecede arıtılmış atık su bazı yerlerde akarsulara verilmektedir. Sulama suyu olarak da kullanılan arıtılmış atıksu sayesinde ağaçlar ve yeşil alanlar dört yıl içinde 3 kat artmıştır (Braatz ve Kandiah, 2005).

Hindistan’da ise atıksu daha çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Sulama suyu olarak da daha çok tarım alanlarında kullanılmaktadır (EPA 2004).

Yang ve Abbaspour (2006), “Pekin’de Atıksuyun Yeniden Kullanılma Potansiyelinin Analizi” adlı çalışmalarında lineer progamlama modeli kullanarak farklı yeniden kullanım senaryolarını, maliyetleriyle birlikte analiz etmişlerdir. Atıksu arıtma tesislerinin daha ekonomik bir çözüm olduğunu, bu tesislerde arıtılan atıksuların kullanım alanlarının tarımsal sulama ve kentsel rekreasyon alanları olduğunu belirtmişlerdir.

Irénikatché Akponikpè ve ark. (2011), “Yarı-kurak Batı Afrika Bölgesinde Makrofit Havuzlarda Arıtılan Evsel Arıtılmış Atıksuyun Domates ve Patlıcan Sulaması için Yeniden Kullanımı” adlı çalışmalarında üç yıl boyunca domates ve patlıcan sulamasında arıtılmış atık su ve tatlı su kullanarak, bu topraktaki fiziko-kimyasal ve biyolojik riskler ile bu sebzeler üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Buna göre; arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanılması için bazı parametreler FAO ve WHO direktifleri doğrultusunda uygun bulunmuşken (fiziko-kimyasal kalitesi), bazı parametler ise uygun bulunmamıştır

(bakteriyolojik kalitesi, fekal koliform). Atıksu ile sulama neticesinde patlıcan verimi, tatlı su ile sulamaya kıyasla artmıştır.

İran'da suların yeniden kullanımıyla ilgili geliştirilen tek standart 'Atık Su Deşarj Standartı'dır. Bu standart 1994'de hazırlanmış ve standartta tarımsal amaçlı kullanım kriterleri ile izin verilebilir deşarj ölçütleri açıklanmıştır. Ancak endüstriyel kullanım için kriterler belirtilmemiştir (Anonim 2004b).

İran; su kaynakları yönetiminin stratejik bir konu olduğu kurak ve yarı kurak bölgede yer almaktadır. İran'daki sanayi bölgelerinde, su kıtlığı en kritik sorunlardan biridir. Bu nedenle arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı; sanayi bölgelerinde su sıkıntısını telafi eden en önemli çözümdür. Şuan arıtılmış atıksuyun sadece % 20'si sulamada kullanılırken % 0,81'i ise endüstriyel amaçlı kullanılmaktadır. Piadeh ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada; İran'daki olağan durum ile birlikte endüstriyel ve sulama amaçlı atıksuların yeniden kullanım sistemleriyle ilgili konuları değerlendirip, İran sanayi bölgelerinde eko-endüstriyel park hedefine ulaşmak amacıyla atıksu yönetimine genel bakışı ele almışlardır. İran'da bugüne kadar altı yüz seksan dokuz sanayi sitesi inşa edilmiş ve atıksuyun % 37'si atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Tüm arıtılmış atıksuyun ise % 20,25'i sulama amaçlı kullanılmıştır. İran'da 2012 sonu- 2015 başı aralığında atıksu arıtma tesisleri kullanılarak, atıksuyun yeniden kullanımı % 0,81'den % 7,22'ye yükseltilmiştir.

Heidarpour ve ark. (2007), kurak bölgelerde suya duyulan ihtiyacın artması sonucu atık suyun tarım ve peyzajda yeniden kullanımı konusunda İran'da bir araştırma merkezinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada toprak farklı yöntemlerle sulanarak beslenmiş (yüzey altı, yüzey) ve topraktaki değişimler izlenmiştir. Farklı derinliklerden toprak örnekleri alınmış ve bu topraklarda elektriksel iletkenlik, çözülebilir sodyum, çözülebilir kalsiyum, çözülebilir magnezyum, toplam azot, fosfor ve potasyum analizleri yapılmıştır. Yüzey altı sulama yapılan alanda yüzey sulama yapılan alana göre elektriksel iletkenlik, çözülebilir sodyum ve çözülebilir magnezyum değeri daha fazla çıkmıştır. Atık su ile sulanan toprağın



ilk ve sonraki katmanlarında, taban suyuyla sulanan alana göre potasyum oranı fazla çıkmıştır. Topraktaki sodyum, toplam azot ve fosfor miktarı ise etkilenmemiştir.

Filistin’de sanitasyon önemli bir eksikliktir. Birçok yerel kanalizasyon fosseptiğe ya da arıtılmadan direk çevreye atılmaktadır. Filistin’de su kaynakları kısıtlı ve yaklaşık % 70’i tarımsal amaçlı sulama için kullanılmaktadır. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı; su kıtlığı gibi problemlerin önlenmesi ve mahsul verimini arttırmak için büyük bir potansiyeldir. Ancak atıksuyun yeniden kullanım uygulamaları için de bir çok zorluk vardır. Henüz kanalizasyon toplama ve atıksu arıtma sistemi olmayan Filistin’de bir kasaba olan Tubas’da gerçekleşen bir çalışmada, geleneksel mühendislik dizaynlarını ve detaylı anket yoluyla arıtılmış atıksu ile ilgili kamu algıları gibi sosyo-kültürel konular ele alınmıştır. Bu yaklaşım; atıksu arıtma sisteminin Tubas’da sürdürülebilir olmasının yanı sıra yararlı olacağına da öncülük edecektir. Filistin’de arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı; büyük ölçüde çevre koşullarının iyileştirilmesini ve tarımsal faaliyetlerin geliştirilmesini sağlayacaktır (McNeill ve ark. 2009).

Ürdün insanların yaşamlarını idame ettirecek derecede, çok az miktarda yenilenebilir su kaynaklarına sahiptir. Dolayısıyla büyüyen popülasyonda artan su ihtiyacını farklı yöntemlerle karşılamak esas olmuştur. Her yıl ortalama su tedarikinin % 10’u arıtma yöntemleriyle elde edilir. 2020’de tarımsal su ihtiyacının % 20’sinin arıtılmış atık sudan karşılanacağı tahmin edilmektedir (Anonim 2004b).

Ammary (2007), yaptığı çalışmada arıtılmış atık suyun Ürdün’de tarımsal alanda kullanılabilirliğini incelemiştir. Atık suyun yüksek oranda tuzluluk ve önemsiz düzeyde ağır metal ile toksik organik bileşikleri içerdiği tespit edilmiştir. Bu atıksuyun arıtılarak sulamada kullanımı neticesinde bile, yüksek terleme oranı olan bitkilerde tuzluluk oranı daha da artmıştır. Dolayısıyla bu tür bitkilere arıtılmış atık su verilecekse temiz su ile karıştırılarak verilmesi ya da kullanım öncesi depolanması önerilmiştir. Arıtılmış atıksuyun tarımsal alanda direk kullanımı neticesinde birçok bitkide % 50-80 oranında büyüme artışı

gözlenmiştir. Yüksek klor konsantrasyonunun ise fasülye gibi bazı bitkiler için zararlı olabileceği bildirilmiştir.

Türkiye’de en fazla su tarım alanında kullanılmaktadır. Bu kullanım oranının değişmeden devam etmesi su kıtlığına kadar sebep olabilir. Dolayısıyla tarım alanının bu sorundan minimum düzeyde etkilenmesi için gerekli önlemler alınmalı ve sulama yönetimine gereken önem verilmelidir. Bu nedenle tarımda atık suların geri kazanımı geliştirilmelidir (<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10929.pdf>, 2014).

Şen (2010) tarafından bildirildiğine göre; sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı bölgelerde, SKKY Teknik Usuller Tebliği sulama suyu kalite kriterlerine göre arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilmektedir. Atıksuyun bu tür kullanımlara uygunluğu, valilikçe İl Çevre Ve Orman Müdürlüğü, İl Tarım Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü’nden oluşturulan komisyonca belirlenmektedir.

Türkiye’nin batı bölgeleri için atık suların arıtılıp yeniden kullanılması önemli bir durumdur. Türkiye nüfusunun % 32’si sanayinin ve kentleşmenin yoğun olduğu batı bölgelerinde yaşamaktadır. Halbuki bölgenin yenilenebilir su kaynaklarının payı Türkiye’nin toplam yenilenebilir su kaynaklarının sadece % 12,5’dir. Dolayısıyla atık suların arıtılarak iyileştirilmesi ve yeniden kullanılması, batıdaki nehir havzaları için büyük önem taşımaktadır ve ayrıca bu durum su kaynakları yönetimi içine entegre edilmelidir (Kukul ve ark. 2005).

Alaton ve ark. (2007), Türkiye’deki dört atıksu arıtma tesisi üzerinde çalışmışlardır. Mevcut sulama suyu kalite kriterlerine göre bu tesislerdeki deşarj parametreleri incelenmiş, tesislerde arıtılan suyun bakteriyolojik parametre, özellikle de fekal koliform açısından TASS olarak kullanımı uygun olmadığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin de tesislerde dezenfeksiyon ünitesi eksikliği ve/veya olanların da yanlış kullanılması olduğu bildirilmiştir. Bu tesisler; 1 350 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Silivri, 100 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli

Paşaköy, 110 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Kayseri ve 227 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Adana kentsel atıksu arıtma tesisleridir.

Karataş ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada İzmir'de bulunan Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan atıksuların arıtma sonrasında denize deşarjı yerine Menemen Ovası'nda sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Arıtılmış atıksuda; pH, EC, AKM, KOİ, BOİ, fosfat, amonyum, toplam tuz ve SAR gibi analizler yapılmıştır. Sonuç olarak bu atıksuyun; toplam tuz, EC, toplam çözünmüş madde (TÇM), SAR ve klor açısından bitkilerde tolerans sınırını aştığı ve dolayısıyla bu suların sulamada kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir.

Çalışkan 2010, yaptığı çalışma ile Ankara Çayında kirlilik yaratan faktörlerin ortaya konmasını hedeflemiştir. Bu amaçla Ankara Çayının su kalitesini belirleyerek tarımsal sulama suyu olarak kullanımının uygunluğunu değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında; Ankara Çayından, dört mevsim boyunca altı istasyondan su örneği alınmış ve belirlenen sulama suyu parametrelerinin analizleri yaptırılmıştır. Analizlerin sonuçları SKKY Teknik Usuller Tebliği kapsamında değerlendirilmiştir. Sulama suyu parametrelerinden EC ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri standartların üzerinde çıkmıştır. Ankara Çayının sulama amaçlı kullanımın zaman içerisinde toprakta tuzluluk oluşturacağı tespit edilmiştir. Ancak 6. istasyonda kirlilik değerlerinin düşük konsantrasyonlarda ölçülmesi, Ankara Evsel AAT'nin (Atıksu Arıtma Tesisi) verimli bir şekilde işletildiğini göstermektedir. 6. istasyon beklenildiği gibi, Ankara AAT'den sonra yer alan bir istasyon olduğundan, en düşük EC değerleri bu istasyonda bulunmuştur. Tuzluluk probleminin sadece su kalitesini etkilemediği, bu su ile sulanan bitki çeşitliliğini ve bitki türlerini de etkilediği belirtilmiştir. 6. istasyondan alınan örneğin arıtılmış atıksu olması dolayısıyla tarımsal amaçlı kullanılabilereceği ancak Ankara Çayının sulama suyu olarak kullanılabilirliği araştırıldığında “tuzluluk problemi” yaratacağından sakıncalı olabileceği tespit edilmiştir.

Aydoğan (2013) tarafından bildirildiğine göre; Iğdır Ovası drenaj sularının kalitelerinin belirlenmesi başlıklı bir çalışmada, 2005 ve 2006 yıllarında Ekim, Kasım ve Aralık ayları

boyunca drenaj kanallarından örnekler alınmıştır. Seçilen dört ayrı yerden, her bir istasyondan yirmişer örnek olacak şekilde usulüne uygun olarak örnekler alınmış ve aylık periyotlarda analizler yapılmıştır. Buna göre; sular fiziksel özellikleri açısından (görünüş, koku, bulanıklık, tat, renk) normal bulunmuş, kimyasal özellikleri ise değişkenlik göstermiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, sudaki artık sodyum karbonat değerinin 2,5 me/1 den fazla olduğu durumlarda bu su ile uzun süre sulama yapılırsa toprakta tuzluluğun artması beklenmektedir. Bu nedenle toprakta tuzluluk probleminin arttırılmaması için söz konusu kanal sularının kontrollü olarak kullanımı sağlanmalıdır (Demirtaş 2008).

Üstün ve Solmaz (2007), Bursa ilinde ki 48 000 m<sup>3</sup>/gün atıksu debili bir Organize Sanayi Bölgesinden (OSB) kaynaklanan atıksuların arıtıldıktan sonra TASS olarak tekrar kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Arıtma tesisi ile SKKY alıcı ortam deşarj kriterleri sağlanmakta, ancak arıtılmış suların tekrar kullanım imkânları değerlendirilmeden deşarj edilmektedir. Arıtılmış atıksulara uygulanan kimyasal çöktürme ve iyon değişimi yöntemleri ile I. sınıf TASS kalitesine ulaşılmış ve arıtılan suların yeniden kullanılabilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Aşık ve Katkat (2005), yaptıkları çalışmada Bursa ilindeki suyu yakındaki bir dereye deşarj edilen bir gıda sanayii arıtma tesisi atık suyunun sulama suyu olarak yeniden kullanım olanağını araştırmışlardır. Bu çalışmada; arıtma tesisinden belirli periyotlarda alınan atık su örneklerinde, pH, EC, bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), karbonat (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>), Cl<sup>-</sup>, sülfat (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>), bor (B), Na<sup>+</sup>, potasyum (K<sup>+</sup>), Ca<sup>++</sup>, magnezyum (Mg<sup>++</sup>), BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM gibi analizler yapılmıştır ve sonuç olarak atık suyun zamana bağlı olarak C<sub>3</sub> S<sub>1</sub> (yüksek tuzlu) ve C<sub>4</sub> S<sub>2</sub> (çok yüksek tuzlu) sulama suyu sınıflarında olduğu belirlenmiştir. Bu atık suların tüm bitki türleri için sulama suyu olarak kullanılamayacağı, özellikle tuzluluğa hassas olan bitkilerin sulanmasında kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir. Kullanılması durumunda toprakta tuzluluğun artacağı ve bitki gelişimi üzerinde olumsuz sonuçlara neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yılmaz (2005), yaptığı çalışmada arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alternatifleri ile tarımsal sulama açısından kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bursa Ticaret Sanayi Odası Su Üretim Tesisi'nin giriş, biyolojik çıkış ve kimyasal çıkış ünitelerinden atıksu örnekleri alınarak pH, SAR, bor, nikel, AKM, değişebilir sodyum oranı, sodyum karbonat kalıntısı, çinko, fekal koliform, iletkenlik, toplam tuz konsantrasyonu, klorür, ağır metal, amonyum, sülfat, demir, bakır, gibi değerler ölçülmüştür. Sonuçlar, SKKY Teknik Usuller Tebliği ve FAO'ya göre değerlendirilip arıtılmış atıksuyun civa ağır metali konsantrasyonu dışında tarımsal sulama kriterlerini sağladığı bildirilmiştir.

Sıtkı (1999), İzmir'de ki evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi yerine Menemen Ovası'nda sulama suyu olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Arıtılmış atıksuda yapılan analizler sonucunda; Cl<sup>-</sup> ve Na<sup>+</sup> konsantrasyonları ile EC değeri yüksek çıkmıştır. Sulama suyu açısından IV. sınıf su kabul edilmiştir. Buna göre; Menemen Ovası'nda yetiştirilen bitkilerin ihtiyaç duyacağı sodyumlu ve fosfatlı gübrenin çoğu atıksu ile yapılacak sulamalarla karşılanacaktır. Atıksu ile sulama yapılması durumunda sulardaki KOİ, BOİ, AKM, EC, N, P değerlerinin izlenmesi gerektiği bildirilmiştir. Uzun vadede sulama yapılması durumunda kötü drenajlı topraklarda tuzluluğa ve ağır metal birikimine neden olabileceği bildirilmiştir.

Tarı (2011), yaptığı çalışmada Balıkesir ilinin Burhaniye ilçesine bağlı Karaağaç köyü sahil kıyısında bulunan Artur tatil sitesi biyolojik atık su arıtma tesisinde arıtılan suların ve bu suyla sulanan bazı yeşil alanlardan alınan toprak ile çim örneklerinin mikrobiyolojik ve fiziksel-kimyasal analizlerini yaparak sonuçları değerlendirmiştir. Zamanla su kaynaklarının azalması ve kontrollü kullanım gerektirmesi dolayısıyla sulama suyu olarak içme suyu niteliğindeki suların kullanılması yerine arıtılmış atık suların kullanılması gerekliliği vurgulanmış; mikrobiyolojik ve fiziksel-kimyasal açıdan su kalitesi parametreleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mikrobiyolojik analiz sonuçları arıtılmış atık suların sulamada yeniden kullanılmasına ilişkin uluslararası standartlar ve Türkiye standardına göre, fiziksel kimyasal analiz bulguları ise Türkiye standardına göre

değerlendirilmiştir. Arıtma tesisinde arıtılmış sular söz konusu standart ve rehberlerle kıyaslandığında, yeşil alan sulamasında kullanım için genel olarak uygun bulunmuştur.

k(2014), Konya ili atıksularının geri kazanılması ve bu suların yeşil alanların sulanmasında yeniden kullanılabilirliği üzerinde çalışmıştır. Öncelikle Konya AAT çıkış sularından beslenecek bir pilot tesis kurulmasına karar verilmiştir. Bu tesiste arıtılmış atıksu için; pH, sıcaklık, AKM, KOİ, bulanıklık, iletkenlik, fekal koliform ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, sulanacak alanların su ihtiyaçları doğal kaynaklar yerine geri kazanılmış atıksu ile karşılanmıştır.

Özdoğru (1999), arıtılmış atıksuyun sulamada kullanılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Atıksuda yapılan analizler sonucunda suyun IV. sınıf su grubuna girdiği ve sulama suyu için önemli bazı parametrelerin standart değerlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir.

Balcıoğlu (2013), biyolojik olarak arıtılmış ekmeğen mayası atıksularının ileri arıtma yöntemi ile geri kazanılmasını amaçlamış ve geri kazanılan suyun tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yapılan analizler sonucunda arıtılmış atıksuyun II. sınıf sulama suyu olduğu bildirilmiştir.

Tunç (2013), yaptığı çalışmada arıtılmış atıksuların tarımsal sulama açısından yeniden kullanım olanaklarını incelemiştir. Bu amaca yönelik olarak, temiz su (normal sulama suyu), filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu ve filtre edilmiş 1:1 oranında temiz su ile seyreltilmiş atıksu olmak üzere dört farklı nitelikteki su damla sulama yöntemiyle karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin sulamalarında kullanılmıştır. Denemeye konu olan sulardan ve bu sularla sulanan deneme alanlarındaki toprak ve bitkilerden örnekler alınarak analizleri yapılmış, elde edilen analiz sonuçları ile yönetmeliklerde verilen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca atık suyun, toprağın su tutma özelliklerine, infiltrasyon hızına, agregat stabilitesine, toplam porozitesine ve gözenek büyüklük dağılımına etkisi de incelenmiştir. Yetiştirilen bitkilerde ise sulama konularının vejetatif gelişime, verime, su tüketimlerine, su kullanım etkinliklerine ve ağır metal

birikimine etkileri değerlendirilmiştir. Deneme konusu suların pH, SAR, EC, AKM, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, toplam N ve P ve fekal koliform içeriklerine göre; genel olarak atıksu ve havalandırılmış atık suların kullanılması sakıncalı sular sınıfına girdiği, seyreltilmiş atık suların kullanılmasına izin verilebilir sular sınıfına girdiği bildirilmiştir. Atıksu ile sulanan alanların agregat stabilitelerinin arttığı, infiltrasyon hızlarının da azaldığı belirlenmiştir. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin atık su ile sulanması verimi artırırken, ağır metal içeriklerinde de bir miktar artışa neden olduğu bildirilmiştir.

Yıldız (2001), atıksu deşarjlarıyla kirlenmiş Harran Ovasında yürüttüğü çalışmada, Şanlıurfa Paşabağı Bölgesindeki sebze bahçelerinin, Karakoyun Deresinden sulanmasının ne gibi sonuçlara ve problemlere sebep olacağını (insanlar üzerinde, toprakta ve bitkide) araştırmıştır. Buna göre dereden farklı noktalardan örnek alınarak pH, elektriksek iletkenlik, kurşun, çinko, krom, mangan, demir, bakır, kadmiyum, gümüş, argon, potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum, sıcaklık ve bakteriyolojik analizler yapılmıştır. Bu topraklarda yetiştirilen taze soğan, maydanoz ve naneden örnekler alınmış ve kalsiyum, sodyum, magnezyum, potasyum, bakır, mangan, demir, çinko analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre, atıksuda bulunan patolojik mikroorganizmaların halk ve çevre sağlığını önemli derecede tehdit ettiği saptanmıştır. Bu sebeple bu atıksuyun, sebze sulamalarında kesinlikle kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir.

### **2.3. Sulama Sularının Kalitesi ve Bu Kaliteye Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi**

Atıksularının arıtılması ve yeniden kullanılması ile ilgili çalışmalar danışmanlık hizmeti alınarak günümüz ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca onaylanmış ve AAT Teknik Usuller Tebliği, 20 Mart 2010 tarihinde Resmi Gazete’de yürürlüğe girmiştir (Anonim 2011b).

Arıtılmış atıksu kalitesi 20 Mart 2010 tarihli resmi gazete ve AAT Teknik Usuller Tebliği’ne göre, EK 7’de belirtilen şekilde düzenlenmiştir. Bu tebliğe göre; arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak yeniden kullanımındaki en önemli risk, bakteri, helmint,

virus gibi sulardaki mikroorganizmalar tarafından bulaştırılabilecek hastalıklardır. Ancak arıtım esnasındaki uygulamalar ve arıtılmış atıksuyun uygulandığı yerin kontrolünün sağlanması ile bu riskler azaltılabilmektedir.

Arıtılmış atıksuyun sulamada yeniden kullanılması için gerekli özellikler, Çizelge 2.2’de verilmiştir. Buna göre iki farklı sınıf oluşturulmuştur ve ilgili kriterler minimum ihtiyaçları karşılamaktadır. İnsanların bitkilerle temasının olabileceği yerlerde iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Gıda ürünlerinin yetiştirildiği yerlerde, meralarda ve çim üretimi gibi alanlarda ise sulama suyunun kalitesinin çok iyi olmasına gerek yoktur. Ancak genel olarak sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir.

**Çizelge 2.2.** Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (Anonim 2010a)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi <sup>a</sup>	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi <sup>b</sup>
<b>Sınıf A</b>				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri<sup>1</sup></i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
<b>a)</b> Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma <sup>c</sup> -Filtrasyon <sup>d</sup> -	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL <sup>g,h</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir.	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık - Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
<b>b)</b> Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>		

**Açıklamalar:**

-Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.

-Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.

-Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.

-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.

-Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.

-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.



-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

### Sınıf B

a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri<sup>m</sup>

b-Girişi kısıtlı sulama alanları

c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler

**Çizelge 2.2.** Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (devam)  
(Anonim 2010a)

a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma <sup>c</sup> - Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL <sup>g,j,k</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. - Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
--	---	--	---	---

#### Açıklamalar:

-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.

-Püskürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.

-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

<sup>a</sup>Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir. <sup>b</sup>Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konulu bir sınırlamadır. <sup>c</sup>İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünleri vb içerebilir. <sup>d</sup>Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir. <sup>e</sup>Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz. <sup>f</sup>Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır. <sup>g</sup>7günlük ortalama değerleri karakterize eder. <sup>h</sup>Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir. <sup>i</sup>Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir. <sup>j</sup>Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

<sup>k</sup>Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir. <sup>l</sup>İleri arıtma uygulanmalıdır.

<sup>m</sup>Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.

Çizelge 2.3’de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri bildirilmiştir. Evsel nitelikli atıksuların dışında yeniden kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kriterleri sağlaması gerekmektedir.

Atıksuların sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek için incelenmesi gereken en önemli parametreler aşağıda belirtilmiştir;

- Elektriksel iletkenlik,
- Çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu,
- Ağır metal ve toksik maddelerin konsantrasyonu,
- Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının toplam konsantrasyonu,
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı,
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi maddelerin miktarı,
- Patojen organizmaların miktarı.

**Çizelge 2.3.** Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo (Anonim 2010a)

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
<b>Tuzluluk</b>				
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam Madde	çözülmüş mg/L	< 500	500-2000	>2000
<b>Geçirgenlik</b>				
SAR <sub>Tad</sub>	0-3	EC ≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6	≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12	≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20	≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40	≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
<b>Özgül iyon toksisitesi</b>				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9

Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Atıksularda bulunan çözülmüş tuzlar, bor, ağır metal gibi maddeler toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısına göre bitkiler tarafından alınabilmekte, ortamda birikebilmekte ya da suda kalabilmektedir. Yüksek tuzluluğun zararlılık dereceleri bitkilerin çeşidi, toprağın karakteri, drenaj şartları su içerisinde bulunan tuzların cinsleri, iklim vb. gibi faktörlerle kontrol altına alınabilmektedir (Çalışkan 2010). Dolayısıyla arıtılmış atıksular arazide kullanılmadan önce fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan tüm ilgili parametrelerin sınır değerlere uygun olduğu kontrol edilmelidir. Ayrıca toprak özellikleri, iklim, bitki çeşidi ve sulama metodu da dikkate alınmalıdır (Anonim 2010a).

Türkiye’de sulama suyu olarak kullanılacak arıtılmış atık sular için dikkate alınması gereken kalite parametreleri Çizelge 2.4’de bildirilmektedir.

**Çizelge 2.4.** Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri (Anonim 1991)

Kalite kriterleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil
EC <sub>25</sub> x10 <sup>6</sup>	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR)	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/l	> 1.25	1.25-2.5	> 2.5		
	< 66	66-133	> 133		
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960

Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor konsantrasyonu (mg/l)	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>2</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Fekal Koliform ** 1/100 ml	0-2	2-20	20-100	100-1000	> 1000
BOİ <sub>5</sub> mg/l	0-25	25-50	50-100	100-200	> 200
Askıda katı madde mg/l	20	30	45	60	> 100
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9	< 6 veya > 9
Sıcaklık	30	30	35	40	> 40

Artılarak yeniden kullanılacak su evsel atık su ise ağır metallerin bilinen zararları ile çok karşılaşmaz. Ancak bu su endüstriyel kökenli ise iyi bir arıtmadan geçirilmesi şarttır. Eğer sulamada kullanılacak su ağır metal içeriyorsa, bu ağır metaller özellikle bitkinin kök bölgesinde birikme yapmaktadır (Toze 2005).

Çizelge 2.5'de sulama sularında izin verilen en yüksek ağır metal ve toksik element konsantrasyonları bildirilmektedir.

**Çizelge 2.5.** Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Anonim 1991)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/1	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/1
Alüminyum (Al)	4600	5	20
Arsenik (As)	90	0.1	2
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-	2
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1
Kobalt (Co)	45	0.05	5
Bakır (Cu)	190	0.2	5
Florür (F)	920	1	15
Demir (Fe)	4600	5	20
Kurşun (Pb)	4600	5	10
Lityum (Li) <sup>1</sup>	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10
Molibden (Mo)	9	0.01	0.052
Nikel (Ni)	920	0.2	2
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02

Vanadyum (V)	-	0.1	1
Çinko (Zn)	1840	2	10

<sup>1</sup>Sulanan narenciye için 0.075 mg/l 'dir.

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

SKKY Teknik Usuller Tebliği ve AAT Teknik Usuller Tebliği'ne göre; Türkiye'de sulama suyu olarak kullanılacak arıtılmış atık sular için dikkate alınması gereken kriterlerin bildirildiği diğer tablolar (Çizelge 2.6, Çizelge 2.7, Çizelge 2.8, Çizelge 2.9, Çizelge 2.10, Çizelge 2.11) aşağıda sunulmaktadır (Anonim 1991, Anonim 2010a).

**Çizelge 2.6.** Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l) (Anonim 2010a)

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa sürelili	Uzun sürelili
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.1	10
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2
Kadmiyum (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.1	20
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.2	5
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5	20
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2	10

\* EPA' nın tavsiyesi

**Çizelge 2.7.** Atıksuların tarımda kullanılması ile ilgili esaslar ve teknik sınırlamalar (Anonim 1991)

Tarım Türü	Teknik Sınırlamalar
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 arıtılmış ve klorlanmış atıksular kullanılabilir.
	- Fekal koliform 1000/100 ml
Yem Bitkileri, Yağ Bitkileri, Çiğ Yenmeyen Bitkiler ve Çiçekçilik	- Salma sulama, mekanik arıtılmış atıksu

Endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu, Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Endüstriyel atıksuların sulama suyu olarak kullanılmaya uygunluğu (Anonim1991)

I	II	III
Yakınında uygun arazi varsa, sulama suyu olarak kullanılabilir	Belirli koşullarda sulama suyu olarak kullanıma uygun <sup>x</sup>	Sulama suyu olarak kullanım için uygun değil
Bira, Malt, Şarap, Patates, Sebze, Konserve, Marmelat, Meyve, Konserve, Süt, Patates Nişastası Fabrikaları	Maya, Şeker, Pirinç ve Tahıl nişastası, Deri tutkalı, Kemik Tutkalı Fabrikaları, Mezbahe, Et kombina Tesisleri, Tabak-hane, Margarin Fabrikası, Kağıt Fabrikası, Karton Fabrikası, Tekstil Sanayii (Ağartma, Mercerize, Boyahane, Baskı-hane 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, Viskoz Suni İpek Fabrikası, Piroлиз Tesisi, Havagazı Tesisleri Jeneratör Gaz Türbinleri, Madeni Yağ Sanayi, Kömür Yıkama, Dinamit Sanayi, Odun Koklaştırma Tesisleri.

<sup>x</sup>Bu Endüstrilerin Atıksularının Çizelge 2.5 ve 2.7'deki Değerlere Kadar Arıtılması Durumunda

Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler, Çizelge 2.9’de verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler (Anonim 2010a)

<b>Tip</b>	<b>Örnek</b>	<b>Arıtma ihtiyacı</b>
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahanası, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemde sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon işlemi, arıtılmış atıksular için önemlidir. Ancak bazı durumlarda arıtılmış evsel atıksular dezenfekte edilmeden de kullanılabilir. Çizelge 2.10’da hangi durumlarda dezenfeksiyona gerek var, hangi durumlarda ise gerek olmadığı bildirilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağını gösteren tablo (- işaret suyun kullanılmayacağını, + işaret ise kullanılabilirliğini gösterir) (Anonim 2010a)



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

Bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması Çizelge 2.11’de verilmiştir.

**Çizelge 2.11.** Bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması (Anonim 1991)

Sulama Suyundaki Bor Konsantrasyonu (mg/1)

Sulama Suyu Sınıfı	Duyarlı Bitkiler <sup>1</sup> (mg/1)	Orta Derecede <sup>2</sup>	
		Dayanıklı Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler <sup>3</sup>
I	0.33’ten az	0.67’den az	1.0’den az
II	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
III	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
IV	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
V	1.25’ten fazla	2.50’den fazla	3.75’den fazla

<sup>1</sup> : Örnek ; Ceviz, Limon, İncir, Elma, Üzüm ve Fasulye <sup>2</sup> : Örnek : Arpa, Buğday, Mısır, Yulaf, Zeytin ve Pamuk

<sup>3</sup> : Örnek : Şeker Pancarı, Yonca, Bakla, Soğan, Marul ve Havuç

Bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak yeniden kullanımında en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur. Çizelge 2.12’de atıksu geri kazanım arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler verilmiştir.

**Çizelge 2.12.** Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler (Anonim 2010a).

Arıtma birimleri	Askıda katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküler organik madde	Çözünmüş organik madde	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözünmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			

Karbon adsorpsiyonu		X		X				
İyon değiştirme			X	X	X			
İleri oksidasyon	X	X		X		X	X	X
Dezenfeksiyon		X				X	X	X

---

Türkiye’de arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili mevcut rehberin geliştirilmesi gerekir, yasal düzenlemelere kontrol ve yaptırımlar getirilmelidir. Bunun için arıtılmış atıksuların sağlaması gereken standartların net bir şekilde tanımlanması ve gerekli arıtma teknolojilerinin belirlenmesi gerekmektedir (Kukul ve ark. 2008).

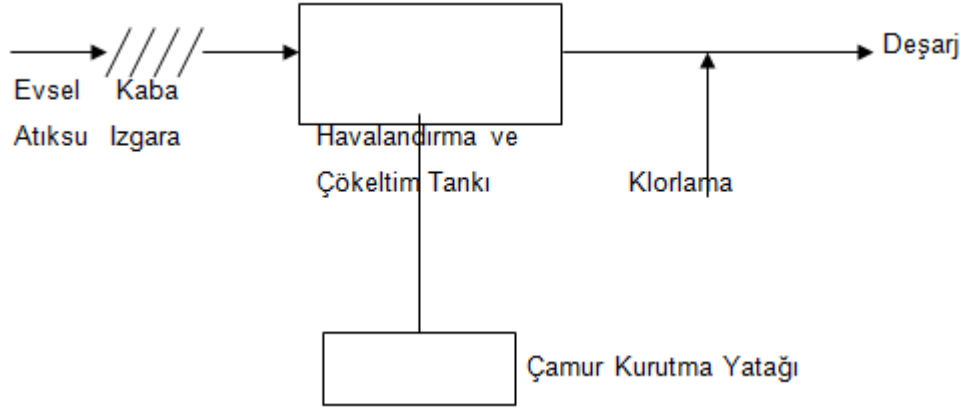
### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Araştırma Alanı

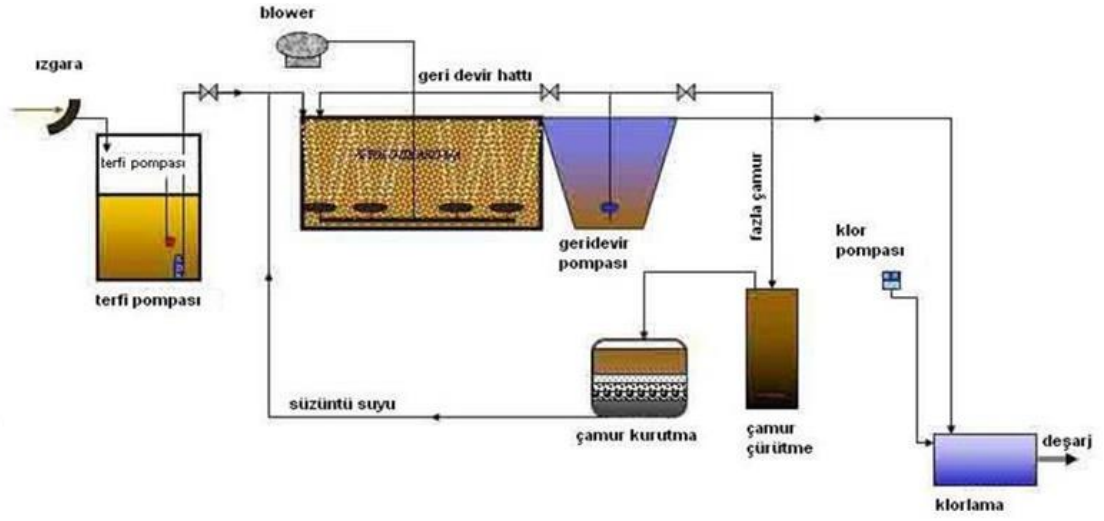
Şekil 3.1’de akım şeması görülen Atıksu Arıtma Tesisi 1983 yılında kurulmuştur. Bu tesis 500 kişinin çalışmakta olduğu, Bursa ili içerisinde kablo üreten bir fabrikanın evsel nitelikli atıksularını arıtmaktadır. Tesise gelen atıksuyun debisi, 150 m<sup>3</sup>/gün’dür. Arıtma tesisinde, SKKY Evsel Atıksu Deşarj Standartları dikkate alınmaktadır.

Araştırma materyali olarak kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksularının arıtıldığı paket atıksu arıtma sistemi çıkışından belirli dönemlerde alınan atıksu örneği seçilmiştir.



Şekil 3.1. Atıksu arıtma tesisi akım şeması

Şekil 3.2’de çalışma şekli verilen tesis, 400 eşdeğer kişi – 80 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli iki paket atıksu arıtma ünitesinden oluşmakta ve her iki ünite de birbirinden bağımsız şekilde çalışmaktadır. Her ünite birer adet münferit atıksu transfer pompasıyla beslenmektedir.



**Şekil 3.2.** Arıtma sistemi ve çalışma şekli

Bir adet dalgıç tip atıksu pompası, mevcut iki pompadan arızalanan pompanın yedeği olarak kullanılmaktadır. Arızalanan pompa demonte edilerek yerine yedek pompa monte edilmektedir. Her iki ünitenin hava ve oksijen ihtiyacı birer adet münferit blower ile sağlanmaktadır.

Bir adet blower, mevcut iki blowerdan biri arızalandığında arızalanan blowerın yedeği olarak kullanılmaktadır. Arızalanan blower demonte edilerek bu blowerın enerji besleme kablosu, montajlı yedek olan blowera bağlanmaktadır. Normal durumda, yedek olan blowerın her iki çıkış vanası kapalı durumda olmaktadır. Montajlı yedek blower devreye alındığında hangi blowerın yedeği olarak hizmet verecek ise o hattın vanası açılmakta, arızalanan blowerın çıkış vanası ise kapatılmaktadır. Yedek olan montajlı blowerın elektrik kumanda panelinde şalt malzemeleri bulunmaktadır.

Kaba ızgaradan geçerek atıksu fosseptiğine toplanan atıksular, dalgıç pompa vasıtasıyla ince ızgaradan geçirilip içindeki çöp gibi katı pisliklerden ayrıştırılır. Sular buradan ardışık kesikli reaktöre geçer ve aktif çamur ile temas ettirilir. Burada atıksular bünyesindeki organik kirlilikler aerobik bakteriler ile  $CO_2$  ve suya dönüştürülmektedir. Bunun için gerekli oksijen ünitadaki blower ile sağlanmaktadır.

Blowerdan sağlanan hava, membranlı kauçuk difüzörlerle tüm tanka eşit olarak dağıtılmaktadır. Ardışık kesikli reaktörde organik kirliliği giderilen atıksular içerdiği bakteri yumaklarıyla çökelmeye bırakılmaktadır. Bu şekilde bakteri yumaklarından ayrılan arıtılmış su, dalgıç tip tahliye pompası ile hipoklorit dozlanarak dezenfekte edilmektedir.

Şekil 3.3’de AAT’nin dıştan görünümü gösterilmektedir.



**Şekil 3.3.** Atıksu arıtma tesisisi

Fabrikadan gelen atık su ilk olarak Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6’da gösterilen çökeltim havuzlarına gelmekte ve atıksuda bulunan organik maddeler havuzdaki bakteriler tarafından tüketilmektedir. Bunun için ortam, bakterilerin yaşam koşullarına göre ayarlanmakta ve havuzlara belirli periyotlarla makineler tarafından hava (oksijen gazı) verilmektedir. Böylece bakterilerin solunumu kolaylaşmakta ve tüketimleri de doğru orantılı olarak artmaktadır.



**Şekil 3.4.** Çökeltim havuzları



**Şekil 3.5.** Çökeltim havuzu

Şekil 3.6’da çökeltim havuzu gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Çökeltim havuzu



Yaklaşık iki saat kırkbeş dakika sonra havalandırma durur ve atık su Şekil 3.7’de gösterildiği üzere dinlenmeye bırakılmaktadır.



**Şekil 3.7.** Dinlenmeye bırakılan atıksu

Havalandırma ve çökeltim tankında çökelen çamur, boşaltma vanalarından Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10’da gösterilen çamur kurutma yataklarına sevk edilmekte ve mevsim şartlarına göre değişen sürelerde bekletilmektedir. Daha sonra tamamen kuruması biten çamur çuvallara konularak tehlikeli atık sınıfına dahil edilmekte ve anlaşmalı lisanslı kuruluşlarda bertarafı yapılmaktadır.



**Şekil 3.8.** Çamur kurutma yatakları genel görünümü



**Şekil 3.9.** Çamur kurutma yatakları genel görünümü

Şekil 3.10’da çamur kurutma yatakları gösterilmektedir.



**Şekil 3.10.** Çamur kurutma yatakları detay görünümü

Havalandırma ve çökeltim tankından çıkan arıtılmış suya Şekil 3.11’de gösterilen klorlama tankından alınan klor ile müdahale edilmekte ve ardından arıtılmış su Bursa Büyük Şehir Belediyesine ait derin deşarj aracılığı ile denize deşarj edilmektedir.



**Şekil 3.11.** Klorlama tankı

### 3.1.2. Arıtma Sistemi ve Çalışma Şekli

Evsel nitelikli suların arıtılmasında en yaygın olarak kullanılan sistem biyolojik arıtmadır. Atıksuların bünyesinde bulunan organik maddelerin aerobik bakteriler yardımıyla CO<sub>2</sub> ve suya dönüştürülmesi biyolojik arıtma olarak adlandırılmaktadır. Aerobik bakteriler, atıksuların bünyesinde bulunan organik maddeleri besi maddesi olarak kullanarak atıksuyu bu şekilde arıtmaktadır. Biyolojik arıtmanın sağlanabilmesi için aerobik bakterilerin temel gereksinimi olan besi maddeleri ve oksijenin sisteme verilmesi gereklidir. Besi maddeleri atıksu bünyesinde mevcut olduğundan dışarıdan sadece oksijenin verilmesi yeterli olmaktadır. Sisteme verilecek hava ile gerekli oksijen sağlanmaktadır. Sisteme verilen hava aynı zamanda atıksu ile aerobik bakterilerin homojen olarak karışımını ve reaksiyonun tank içinde üniform olarak gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Gerekli oksijen ve karışım havası, blowerdan sağlanmaktadır. Blowerdan sağlanan hava, ince hava kabarcığı veren membranlı hava difüzörleri ile tüm tanka eşit olarak dağıtılmaktadır.

Fabrikada oluşan evsel atıksular, atıksu fosseptiğinde toplanmaktadır. Atıksu fosseptiğinde toplanan atıksular, dalgıç tip bir pompa vasıtasıyla biyolojik reaktör girişinde bulunan ince ızgaradan geçirilerek bünyesindeki kirlilikler arındırılmaktadır. Biyolojik reaktörde yeterli süre havalandırılan aerobik bakteriler (aktif çamur) ve atıksu karışımı durgun şartlarda kendi haline bırakıldığında, aerobik bakteriler tabana çökerken arıtılmış sular üstte kalmaktadır. Kirletici organik maddeler ise bu reaksiyon süresince aerobik bakterilerin faaliyetleri sonucunda CO<sub>2</sub> ve suya dönüşerek ortamı terk etmektedirler. Biyolojik reaktördeki aerobik bakteri konsantrasyonunu sabit tutmak amacıyla sistemden belirli aralıklarla aerobik bakterilerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Biyolojik reaktör dört fazdan oluşan çevrimler halinde çalışmaktadır. Bu fazlar otomatik kontrolde doldurma, reaksiyon, çökme ve tahliye olarak tanımlanmıştır.

Reaktördeki doldurma ve tahliye işlemleri alt ve üst seviye flatörleri ile gerçekleştirilmektedir. Çökme zamanı ise otomatik olarak timer ile ayarlanmaktadır.

### **Doldurma Fazı**

Biyolojik reaktöre atıksu girişı başladığında blower da devreye girmektedir. Bu faz doldurma fazı olarak adlandırılmaktadır.

### **Reaksiyon Fazı**

Doldurma fazı sonunda reaktöre atıksu alımı durdurulmaktadır. Blower, reaktör için gerekli oksijen ve karışımı sağlamak amacıyla çalışmasına devam etmektedir. Bu faz reaksiyon fazı olarak adlandırılmaktadır.

### **Çökeltme Fazı**

Reaksiyon fazı sonunda blower durur ve aktif çamurun çökmesi beklenmektedir. Bu faz çökeltim fazı olarak adlandırılmaktadır.

### **Tahliye Fazı**

PLC programında tanımlanan çökeltim süresinin sonunda tahliye pompasının devreye girmesiyle arıtılmış su havuzuna desarj edilmektedir. Reaktördeki alt seviye flatörü kumandasında tahliye pompası otomatik olarak durmaktadır. Bu faz tahliye evresi olarak adlandırılmaktadır. Bu fazın sonunda dört fazdan oluşan bir çevrim tamamlanmış olur. Biyolojik reaktörde arıtılmış olan su, tahliye pompası ile denize transfer edilirken hipoklorit ile dezenfekte edilmektedir. Dozlama işlemi klor dozaj pompası vasıtasıyla yapılmaktadır. Klor dozajı tahliye pompası hattında yapılmaktadır.

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. Numune Alma**

Paket atıksu arıtma sistemi çıkışından farklı dönemlerde alınan (Ocak, Nisan, Ağustos) üç atıksu örneği, temizlenip saf sudan geçirilmiş olan numune kaplarına koyulmuştur. Bu numune kapları önce su numunesi ile çalkalanıp akmakta olan sudan doldurulmuştur.

Numune kaplarının üzerine etiket bilgileri yazılarak numaralandırılmış ve en kısa sürede laboratuvara getirilmiştir.

### **3.2.2. Kimyasal Analizler**

Alınan örneklerde;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Amonyum, pH, EC, SAR, RSC gibi tayinler standart yöntemlerle yapılmış, her bir analiz üç kere tekrarlanıp ortalaması alınarak SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde bildirilen sulama suyu kalite kriterleri çerçevesinde değerlendirilip suyun kalite sınıfı belirlenmiştir.

#### **pH**

Su örneklerinin pH ölçümlerinde çoklu parametre ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın kalibrasyonunda tampon çözeltiler kullanılmıştır. pH değerleri TS EN ISO 10523 standardına göre ölçülmüştür (Anonim 2013). pH analizleri, mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

#### **Elektriksel İletkenlik (EC)**

Elektriksel iletkenlik TS 9748 EN 27888 standardına göre çoklu parametre ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Anonim 1996). Cihazın kalibrasyonu için 0.01 M'lık KCl çözeltisi kullanılmıştır. İletkenlik ölçümünden önce numunelerin 25°C'daki referans sıcaklıkta dengeye gelmeleri sağlanmıştır.

#### **Sodyum, Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Klor, Sülfat, Nitrat, Orto-fosfat**

Analizler iyon kromatografisi cihazında yapılmıştır. TS EN ISO 14911 ve TS EN ISO 10304-1 standartlarına uygun şekilde çalıştırılan İyon Kromatografi cihazında hem anyon hem de katyon analizi yapılmıştır (Anonim 2000, 2010). Ancak kullanılan cihaz aparatları

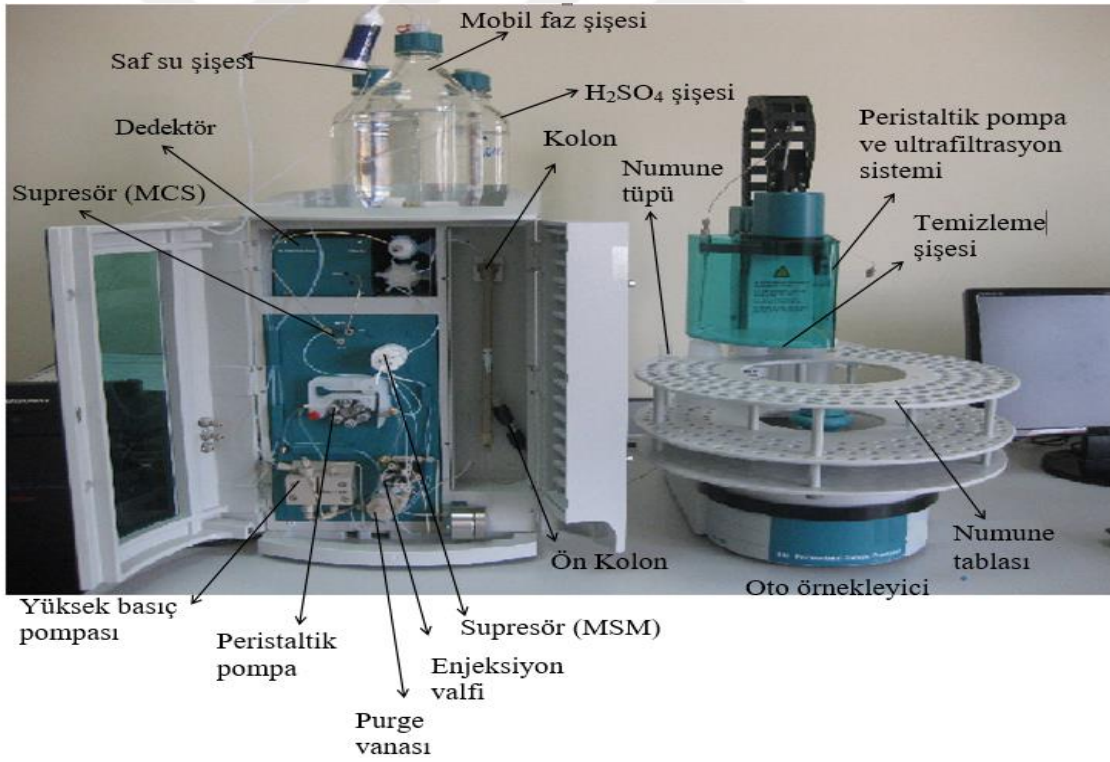
farklılık gösterir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de belirtildiği gibi katyon analizi için pompa, enjeksiyon valfi, dedektör, purge vanası ve kolon yeterli olurken, anyon analizi yapabilmek için bunların yanında mcs, msm, peristaltik pompa cihazı gerekmektedir.

### Anyonlar

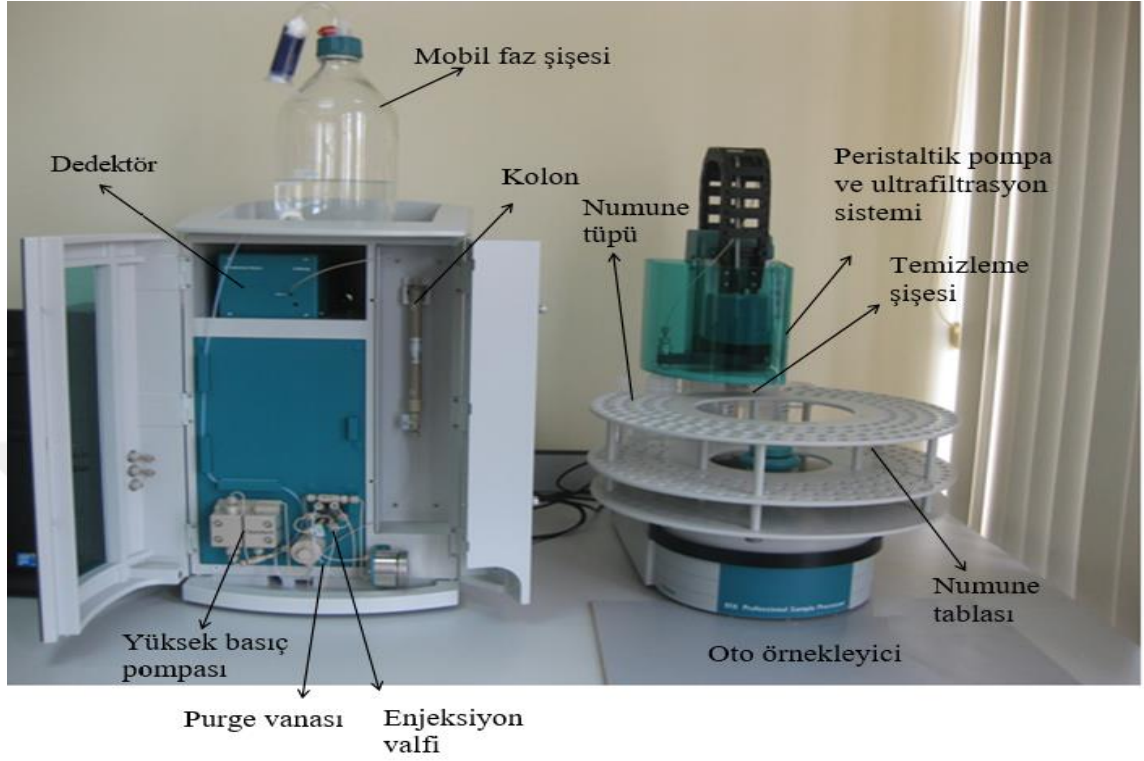
- Klorür ( $\text{Cl}^{-1}$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2^{-1}$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^{-1}$ ), Orto-fosfat ( $\text{o-PO}_4^{-3}$ ), Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

### Katyonlar

- Sodyum ( $\text{Na}^{+1}$ ), Amonyum ( $\text{NH}_4^{+1}$ ), Potasyum ( $\text{K}^{+1}$ ), Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ ), Magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ )



Şekil 3.12. İyon (anyon) kromatografi cihazı



Şekil 3.13. İyon (katyon) kromatografi cihazı

### **Karbonat ve Bikarbonat**

TS 3790 EN ISO 9963-1 standartına göre, karbonat analizi için fenolftalein, bikarbonat analizi için metil oranj indikötörü kullanılmış ve normalitesi belli sülfirikasit ile titre edilerek gerekli ölçümler yapılmıştır (Anonim 1998).

### **Amonyum ve Nitrit**

Amonyum analizi ASTM standartına göre kit metoduyla spektrofotometrede yapılmıştır. Kimyasal test kiti; hazır kimyasal karışımlar, yani reaktifler içerir.

Nitrit tayini ise TS EN ISO 10304-1 standartına göre İyon Kromatografisi'nde yapılmıştır (Anonim 2010b).



## **%Na, SAR, RSC, Suyun sınıfı**

TS 7739 sulama suyu standartına göre hesapla bulunmuştur (Anonim 2009).

### **SAR ve %Na Hesaplanması**

Sodyum adsorpsiyon oranı, sudaki ve topraktaki sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrıldığı için topraktaki porozite azalmakta, büyük boşluklar tıkanmakta ve dolayısıyla su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Sodyum oranı SAR ile gösterilip konsantrasyonlar, meq/l cinsindedir. SAR, suyun sodyum açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. SAR ve % Na aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmaktadır (Anonim 2010a).

$$SAR = (Na^+ \text{ me/l}) / [(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / 2]^{1/2} \quad (3.1)$$

$$\% Na = \frac{Na}{Na+K+Ca+Mg} 100 \quad (3.2)$$

Suyun EC değeri yükseldikçe, SAR değeri azalmaktadır.

### **Sodyum Karbonat Kalıntısı (RSC)**

Çalışkan (2010) tarafından bildirildiğine göre, sulama sularının sınıflandırılması için eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu, Na<sup>+</sup> konsantrasyonu, özel iyon toksisitesi, kalıcı sodyum karbonat, tuzluluk parametrelerine de bakılmalıdır. Kalıcı sodyum karbonat değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$RSC = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-1}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (3.3)$$

Ortamdaki karbonat ve bikarbonat ilk olarak iki değerlikli kalsiyum ve magnezyum ile birleşme eğilimi gösterecektir. Bütün kalsiyum ve magnezyum iyonları karbonat

ve bikarbonat iyonları ile birleştiklerinde, ortamda hala karbonat ve bikarbonat var ise (sonuç “pozitif”) ortamdaki karbonat ve bikarbonat ile sodyum birleşme eğilimi gösterecektir ve sodyumbikarbonat oluşacaktır. Eğer sonuç negatif ise sodyum bikarbonat oluşma olasılığı olmayacağı için sodyum karbonatın olumsuz etkisi beklenmeyecektir (Ayers ve Westcot 1989).



#### **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Paket atıksu arıtma sistemi çıkışından farklı dönemlerde (Ocak, Nisan, Ağustos) alınan üç atıksu örneği Materyal ve Metod bölümünde bahsedilen parametrelere göre analiz edilmiş ve her bir analiz üç kere tekrarlanıp ortalaması alınmıştır.

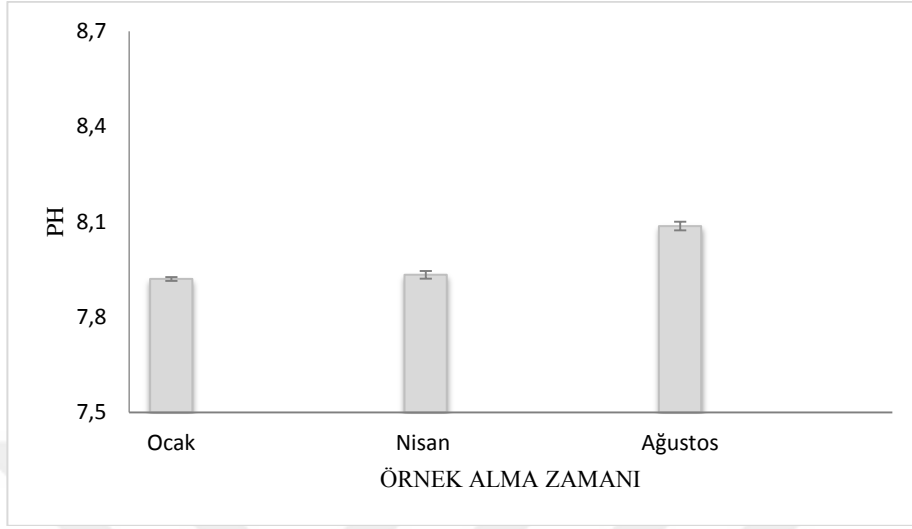
Sonuçlar, SKKY Teknik Usuller Tebliği ve AAT Teknik Usuller Tebliği'nde belirtilen sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalitesi ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

##### **4.1. pH**

Çalışkan (2010) tarafından bildirildiğine göre; pH değeri, suda yer alan hidrojen ve hidroksil iyonlarının derişimi olarak adlandırılmaktadır ve suların asidik ve bazikliğinin bir ölçüsüdür. pH bitki besin elementlerinin alımını etkiler (Will ve Faust, 1999). Sulama sularının pH aralığının 6,5-8,4 olması sulama yönünden problem oluşturmamaktadır. Sulama suları pH değerlerinin nötre yakın ve hafif alkali (pH: 6,5-8,4) sınıfları arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada analiz edilen sularda pH ortalama değeri standart değerler arasında olduğu için, sular pH açısından normal kabul edilmektedir ve sulama suyu olarak kullanılmasında sorun yaratmayacağı bir gerçektir (Ayers ve Westcot 1989).

Çalışma sonuçlarına göre pH değeri 7,92 ile 8,09 arasında değişim göstermektedir. Maksimum pH değeri 8,09, minimum pH değeri ise 7,92' dir.

Şekil 4.1'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama pH değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.1.** pH değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.1’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki pH değerleri bildirilmiştir. Buna göre; I. sınıf, II. sınıf ve III. sınıf sulama sularının pH değeri 6,5-8,5; IV. sınıf sulama sularının pH değeri 6,5-9, V. sınıf sulama sularının pH değeri 6’den küçük ve 9’dan büyük olmalıdır.

**Çizelge 4.1.** SKKY teknik usuller tebliğine göre pH değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı)
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5 - 9	< 6 veya > 9

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen pH ortalama değerleri 6,5-8 arasında kaldığı için sulama suyu açısından kullanıma uygundur.

Kara (2010) yaptığı çalışmada, Konya-Sarayönü-Gözlü köyü sulama sahası tarım arazilerinin ve sulama suyu kaynaklarının durumunu değerlendirmeyi amaçlayarak

araştırma alanından alınan sulama suyu örneklerinde kimyasal ve fiziksel analizler yapmıştır. pH analizine göre değerlerin 6,93-7,92 arasında değiştiği tespit edilmiş, buna göre pH değeri açısından analizlenen suların sulama suyu açısından kullanıma uygun olduğu bildirilmiştir.

Konya-Ereğli İvriz Sağ Sahil Sulama Birliği sahasındaki arazilerin sulanmasında kullanılan yeraltı su kaynaklarının sulama suyu kalitesini belirlemek için su örnekleri alınmış ve bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Buna göre; sulama sularının pH değerlerinin 7,05-7,56 arasında değiştiği bildirilmiştir (Okumuş 2011).

#### **4.2. Elektriksel İletkenlik**

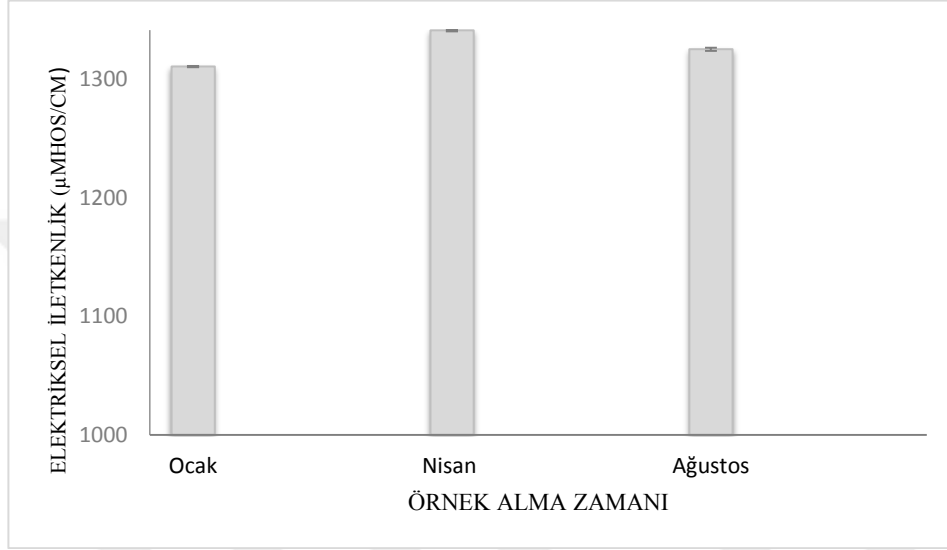
Sulama sularının tuzluluğu genellikle suların içinde bulunan katyon ve anyonların toplamı olarak ölçülen elektriksel iletkenlik kavramı ile açıklanır. EC, standart sıcaklık kabul edilen 25 °C ile ifade edilerek farklı iklim koşullarında ölçülen değerleri birbirleriyle karşılaştırmaya yarar (Pescod 1992).

Sulardaki tuz miktarı ile elektriksel iletkenliği arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Buna göre elektriksel iletkenliğin kolay bir şekilde ölçülmesi nedeniyle, suların tuz içeriği bakımından kalitesinin elektriksel birimler olan dS/m = mS/cm, veya mmhos/cm, micromhos/cm olarak verilmesi uygun olmaktadır (Özer 2004).

Elektriksel iletkenlik, sulama suyunun kalitesini belirlemektedir. Ayrıca orak toprakların yıkama suyu ihtiyaını da belirlemede önemli bir kriterdir (<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12951.pdf>, 2016).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin EC değeri 1 311 (µmhos/cm) ile 1 342 (µmhos/cm) arasında değişim göstermektedir. Maksimum EC değeri 1 342 (µmhos/cm) ile Nisan ayında alınan numunede, minimum EC değeri 1 311 (µmhos/cm) ile Ocak ayında alınan numunede ölçölmüştür.

Şekil 4.2’de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama elektriksel iletkenlik değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.2.** Elektriksel iletkenlik değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.2’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki EC değerleri bildirilmiştir. Buna göre; iletkenlik konsantrasyonu 250 µmhos/cm’den küçük ise I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ise ölçülen değer 2 000 µmhos/cm’den büyük olmaması gerekmektedir.

**Çizelge 4.2.** SKKY teknik usuller tebliğine göre EC değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. sınıf su (çok iyi)	II. sınıf su (iyi)	III. sınıf su (kullanılabilir)	IV. sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı)
EC <sub>25</sub> ×10 <sup>6</sup> (µmhos/cm)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen EC ortalama değerleri 750-2 000 ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) arasında olduğundan III. sınıf su (kullanılabilir) olduğu tespit edilmiştir.

Dorak (2015) yaptığı çalışmada, Bursa'da bulunan Nilüfer Çayı'nın sulama suyu kalite parametrelerinin belirlenmesini amaçlayarak Nilüfer Çayı'na deşarj eden beş arıtma tesisinin çıkış noktasından ve bu tesislerin deşarj ettikleri derelerden belirli dönemlerde atıksu örnekleri almıştır. Alınan su örnekleriyle analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar SKKY'de belirtilen kriterlere göre değerlendirilmiştir. Nilüfer Çayı ve Nilüfer Çayı'na deşarj edilen arıtma tesisleri atıksu kalite parametrelerinin dönemlere göre değişiklik gösterdiği, deşarj öncesi ve deşarj sonrası Nilüfer Çayı'ndan alınan su parametreleri incelendiğinde arıtma tesislerinden deşarj edilen suların Nilüfer Çayı'nın EC değerlerine olumsuz yönde etki ettikleri görülmüştür.

Demir (2013) yaptığı çalışmada, Silifke Ovası'nda ki topraklar ile ve bu toprakların sulanmasında kullanılan yeraltı sularının sulama suyu kalitesi yönünden incelenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla, sera işletmelerinin sulanması için kullanılan kuyulardan alınan su numunelerinde fiziksel ve kimyasal analizler yapılmış, araştırma sonuçlarına göre sulama sularının EC değerlerinin 437-2 103  $\mu\text{mhos/cm}$  arasında değiştiği bildirilmiştir. Sulama suları EC değerlerinin yüksek çıkma sebebi olarak da, yeraltı sularına deniz suyunun karışmış olma ihtimalinden bahsedilmiştir.

Konya-Sarayönü-Gözlü köyü sulama suyu kaynaklarının durumunu değerlendirmek amacıyla sulama suyu örneklerinde analizler yapılmış ve buna göre EC değerlerinin 481-1 576  $\mu\text{mhos/cm}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir (Kara 2010).

Demre yöresi seralarında su tuzluluğunun yetiştirme periyodu boyunca değişiminin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada seralardan üç farklı dönemde sulama suyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin EC değerleri ortalama 1 171  $\mu\text{mhos/cm}$  olarak belirlenmiştir (Sönmez 2002).

### 4.3. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)

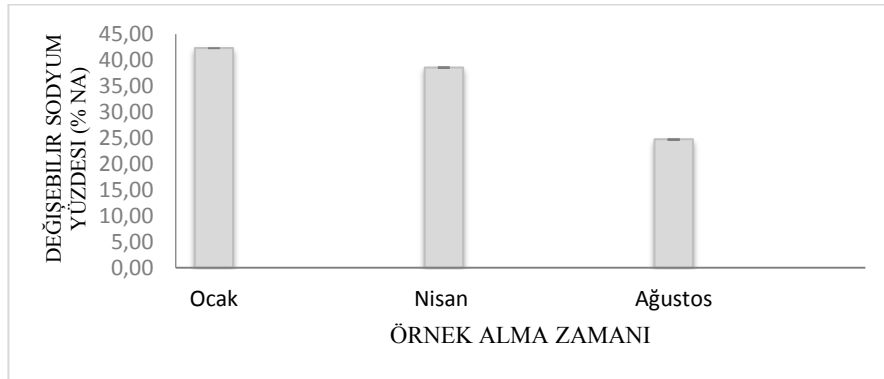
Değişebilir sodyum artışı ile toprağın fiziksel özellikleri bozulmakta ve toprakta bitki gelişimi önemli ölçüde zarar görmektedir. Toprak kolloidleri yayılarak su ve havanın toprak içindeki hareketini oldukça yavaşlatmaktadır (Işık ve Usta 2004).

Değişebilir sodyumun toprakta fazla bulunması, sodyumun bitkilerde zehirliliğe yol açmasına ve toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bunun sebebi de killerin şişmesi ve ayrışmasıdır. Hesaplanmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir. Bu formüldeki iyon konsantrasyonları meq/L cinsindedir (Koç 2011).

$$\% Na = \frac{Na}{Na+K+Ca+Mg} 100 \quad (4.1)$$

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin değişebilir sodyum yüzdesi değeri 24,69 ile 42,25 arasında değişim göstermektedir. Maksimum değişebilir sodyum yüzdesi değeri 42,25 ile Ocak ayında alınan numunede, minimum değişebilir sodyum yüzdesi değeri 24,69 ile Ağustos ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.3'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama değişebilir sodyum yüzdesi değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük değişiklik göstermediği görülmüştür.



Şekil 4.3. Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri değişimi grafiği ve standart sapmaları



Çizelge 4.3’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki değişebilir sodyum yüzdesi değerleri bildirilmiştir. Buna göre değişebilir sodyum yüzdesi 20’den küçük ise analiz edilen su I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için de değer % 60’dan büyük olmaması gerekmektedir.

**Çizelge 4.3.** SKKY teknik usuller tebliğine göre sodyum yüzdesi değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan atıksu numunelerinde analiz edilen değişebilir sodyum yüzdesi değerlerine göre; Ocak ayında alınan numunenin III. sınıf su (kullanılabilir) kalitesinde, Nisan ve Ağustos ayında alınan numunelerin ise II. sınıf su (iyi) olduğu tespit edilmiştir.

Sönmez (2012) yaptığı çalışmada, Demre yöresi seralarında su ve toprak tuzluluğunun yetiştirme periyodu boyunca değişiminin incelenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla yirmi sekiz seradan sulama suyu örnekleri alınarak analizler yapılmıştır. Sulama suyu örnekleri değişebilir sodyum yüzdesi değeri yönünden sorunsuz bulunmuştur.

Zengin (1992) yaptığı çalışmada, Konya ovasını temsilen alınan ondört adet yerüstü ve yeraltı sulama sularının, bitki beslenmesi açısından niteliklerini belirlemek istemiştir. Tüm su örneklerinin ortalama değişebilir sodyum yüzdesi değeri 28,92 bulunmuştur. Buna göre bazı su kaynakları %Na açısından I. sınıf su kalitesinde iken diğerlerinin de II. sınıf, III. ve IV. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir.

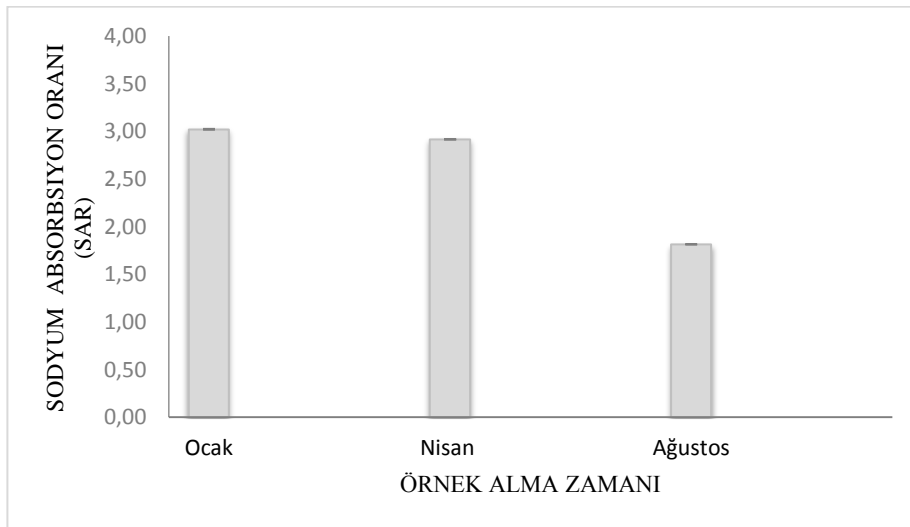
#### 4.4. SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı)

Toprak çözeltilisinin SAR değeri, toprak tarafından adsorbe edilen sodyum miktarını ifade etmektedir. Dolayısıyla SAR değeri suyun sodyum veya alkali zararının bir ölçüsüdür. Sulama suyunun SAR değerinin artması durumunda toprağın değişebilir sodyum yüzdesi de artmakta ve toprak sodikleşme eğilimi göstermektedir (<http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/15/168/1349.pdf>, 2016).

Topraktaki SAR değeri %10-15'i geçtiğinde, topraktaki geçirgenlik azalır, toprak işleme zorlaşır ve çimlenme zayıflar (Ekmekçi ve ark. 2005).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin sodyum absorpsiyon oranı 1,81 ile 3,02 arasında değişim göstermektedir. Maksimum sodyum absorpsiyon oranı 3,02 ile Ocak ayında alınan numunede, minimum sodyum absorpsiyon oranı 1,81 ile Ağustos ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.4'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama SAR değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sodyum absorpsiyon oranı değişimi grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.4’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki sodyum absorpsiyon oranı bildirilmiştir. Buna göre sodyum absorpsiyon oranı 10’dan küçük ise analiz edilen su I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. II. sınıf sulama sularında 10-18, III. sınıf sulama sularında 18-26, IV. ve V. sınıf sulama sularında 26’dan büyük sodyum absorpsiyon oranı bulunmasına izin verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** SKKY teknik usuller tebliğine göre sodyum absorpsiyon oranı

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR)	<10	10- 18	18- 26	> 26	

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen sodyum absorpsiyon oranı < 10 olduğundan I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir.

Yurtseven ve Bozkurt (1997) yaptığı çalışmada, dört farklı tuzluluk değeri ile iki farklı SAR oranı değerlerinin marulda ki verim ve kalite üzerindeki değişimini incelemiştir. Sulama suyundaki tuzluluk ve sodyumluluğundaki artış dolayısıyla marul veriminde %13’lük bir azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Yıldız (2009) yaptığı çalışmada, Çayyolu-Konya yolu arasındaki (Ankara) akiferlerde, yeraltı sularının kalitesini ve bu yeraltı sularının sulama suyu olarak uygunluğunu incelemiştir. Buna göre inceleme alanından alınan numunelerin tamamının SAR değerlerine göre I. sınıf su olduğu tespit edilmiştir.

Tunç (2005) yaptığı çalışmada, Erzurum ilinde bulunan sulama göletlerinin sularının fiziksel ve kimyasal niteliklerini incelemiştir. Bu amaçla on üç göletten örnekler alınarak

analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre iki gölet dışındaki bütün göletlerin sularının sodyum zararı yönünden her toprak ve bitki için uygun olduğu tespit edilmiştir.

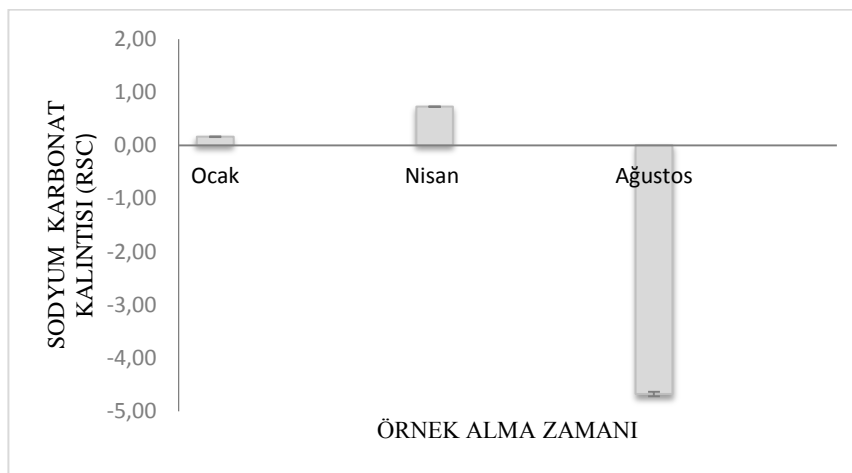
#### 4.5. Sodyum Karbonat Kalıntısı

Yinanç (2013) tarafından bildirildiğine göre; sulama sularında bulunan sodyum karbonat kalıntısı suların tarım arazilerindeki kullanım durumu hakkında bilgi vermektedir. Artık sodyum karbonat kalıntısı ise toprakların fiziksel özelliklerini bozarak sodyumlu toprakların oluşmasına neden olmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010). Hesaplanmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir. Bu formüldeki iyon konsantrasyonları meq/L cinsindedir.

$$RSC = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-1}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (4.2)$$

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin değişebilir RSC -4,68 ile 0,73 arasında değişim göstermektedir. Maksimum RSC 0,73 ile Nisan ayında alınan numunede, minimum RSC -4,68 ile Ağustos ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.5’de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama RSC değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** Sodyum karbonat kalıntısı değişimi grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.5’ de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki sodyum karbonat kalıntısı değerleri bildirilmiştir. Buna göre I. sınıf sulama sularında 66 mg/l (1,25 meg/l)’den küçük, II. sınıf sulama sularında 66-133 mg/l (1,25 -2,5 meg/l), III. sınıf sulama sularında 113 mg/l (2,5meg/l)’den fazla sodyum karbonat kalıntısı bulunmasına müsaade edilmiştir.

**Çizelge 4.5.** SKKY teknik usuller tebliğine göre RSC değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/l	> 1.25	1.25-2.5	> 2.5		
mg/l	< 66	66-133	> 133		

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen sodyum karbonat kalıntısı miktarı 1,25 meg/l değerinden küçük olduğundan I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir.

Güllüoğlu (2006) yaptığı çalışmada, Harran Ovası yeraltı suyu kalitesine göre bu suların içme ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ova genelinde yirmi dört ayrı noktadan numune alınarak analizler yapılmış ve değerler standart ve yönetmeliklerdeki değerlerle karşılaştırılarak numune alınan kuyulardaki suyun kalitesi belirlenmiştir. Belirlenen noktalarda ölçülen RSC değerleri değişiklik göstermiş, bazıları sulama yönünden sakınca oluştururken bazılarının da sulama suyu olarak kullanılabilceği bildirilmiştir.

Aksaray Bölgesinde bulunan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının mevsimsel sulama suyu kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada analiz sonuçlarına göre RSC

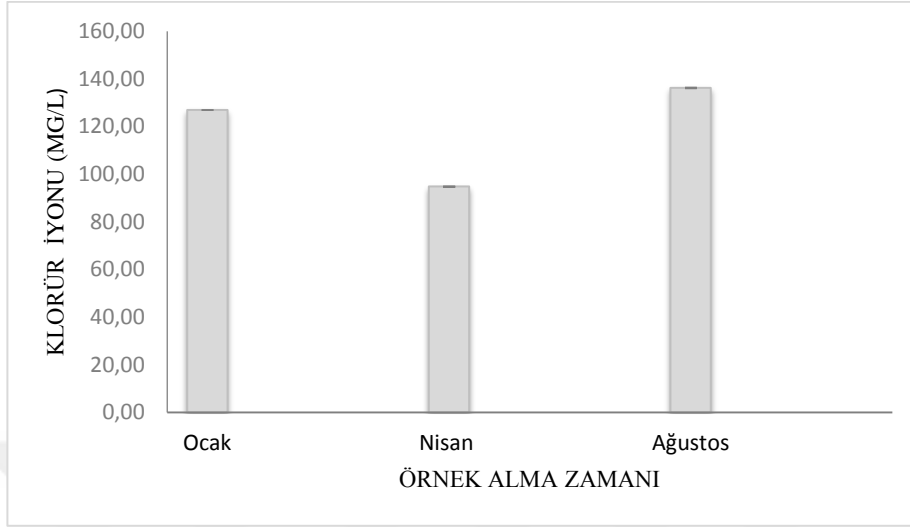
değerlerinin mevsimsel değişimlerden etkilendiği, en düşük RSC ortalama değerinin yaz döneminde elde edilirken, en yüksek RSC ortalama değerinin sonbahar ve kış dönemlerinde elde edildiği bildirilmiştir. Tüm dönemlere ait RSC ortalama değerleri sulama suyu kalitesi açısından sınır değerlerin altında bulunmuş ve sulama yönünden sakınca oluşturmadığı tespit edilmiştir (Karadavut 2009).

#### **4.6. Klorür**

Klor iyonu bitkilerde karbonhidrat iletimini sağlamaktadır. Ancak yüksek dozlarda bitkilerde toksik etki yaratmaktadır. Bitkilerde klor zararı ilk önce yaprak uçlarında görülmekte, zamanla yaprak ucu kurumakta ve zehirlenme arttıkça da ölü doku miktarı artmaka ve yapraklar dökülmektedir (Canlı 2014).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin Klorür iyonu değeri 94,77 mg/l ile 136,21 mg/l arasında değişim göstermektedir. Maksimum Cl<sup>-</sup> iyonu değeri Ağustos ayında alınan numunede, minimum Cl<sup>-</sup> iyonu değeri ise Nisan ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.6'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama Klorür değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.6.** Klorür iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.6'de SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulama sularındaki klorür konsantrasyonu verilmiştir. Buna göre klorür konsantrasyonu 142 mg/l'ten küçük olduğu zaman I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ise 426 mg/l' ye kadar izin verilmektedir.

**Çizelge 4.6.** SKKY teknik usuller tebliğine göre klorür değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/l	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen klorür iyonu değeri 0-142 mg/l arasında olduğundan I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir ve sulama suyu olarak kullanılabilmektedir.

Yenigün (2009) yaptığı çalışmada, Harran ovası akiferinin bazı su kalitesi parametrelerini ölçüp, yeraltı sularının değişik faaliyet ve amaçlar için özellikle tarımsal sulama suyu

olarak kullanımını belirlemek için on bir örnekleme kuyusundan örnekler olarak analizler yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre klorür iyonu değeri en yüksek 681,20 mg/L olarak ölçüldüğü için IV. sınıf sulama suyu olduğu tespit edilmiştir.

Güney Marmara Bölgesi içinde yer alan M. Kemalpaşa, Karacabey ve Biga yörelerinde sulama suyu kirlilik durumlarını belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Buna göre; M. Kemalpaşa ve Karacabey'deki suların yaklaşık % 15'i, Biga'dakilerin % 30'unun kültür bitkileri için zararlı düzeyde  $Cl^-$  içerdiği bildirilmiştir (Elmacı 1995).

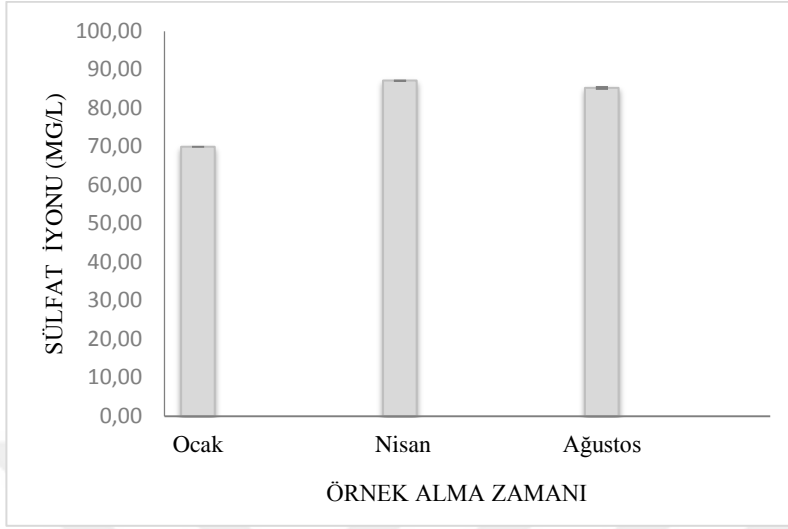
#### **4.7. Sülfat**

Sulama suyunda bulunan yüksek konsantrasyondaki sülfat iyonu kalsiyum çökmesine neden olmakta ve ayrıca bitkilerde de toksik etki yaratmaktadır. Sülfat, kloro göre ise daha az toksiktir (Güngör 2015).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin Sülfat değeri 69,97 ile 87,15 arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 87,15 ile Nisan ayında alınan numunede, minimum değer ise 69,97 ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.7'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama sülfat değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.





**Şekil 4.7.** Sülfat iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.7’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki sülfat değeri verilmiştir. Buna göre sülfat konsantrasyonu 192 mg/lt’den küçük olduğu zaman I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir.

**Çizelge 4.7.** SKKY teknik usuller tebliğine göre sülfat değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/l	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen sülfat değeri 0-192 mg/l arasında olduğundan I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir ve sulama suyu olarak kullanılabilir.

Yetiş (2015) yaptığı çalışmada, karstik su kaynaklarına sahip Balıklıgöl havzasında sudaki kirliliğin mevcut durumunu tespit etmek amacıyla havza içerisinde belli noktalardan su örnekleri alarak analizler yapmış ve sulama suyu kalitesi açısından bu suları sınıflandırmıştır. Buna göre tüm örnekleme noktaları için ele alınan sülfat değerleri SKKY'ye göre I. sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir.

Arıkan (2007) yaptığı çalışmada, İkizce (Haymana) ve çevresindeki yer altı sularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmak için belirlenen kuyulardan örnekler almış ve analizlerini yapmıştır. Ölçülen değerler SKKY'ye göre değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre sülfat değeri 0,01 – 5,17 meq/lt arasında olduğundan II. sınıf su (iyi) olduğu tespit edilmiş ve sulama suyu olarak kullanılabilceği bildirilmiştir.

#### **4.8. Karbonat**

Karbonat suda erimiş doğal halde bulunan bir anyondur. Ortamda karbonat iyonlarının artması suyun pH değerini arttırmakta ve suda alkali özelliklerin egemen olmasına neden olmaktadır. Sulama suyunda çok fazla karbonat iyonlarının olması istenmez çünkü bu durum bitkilerde toksik etki yaratmaktadır. Sodyum karbonat aynı zamanda; toprağın fiziksel özelliklerini de bozmakta, pH'yı arttırmakta, bitki besin maddelerinin alınımını azaltmaktadır (Bulut 2015).

Arıtma tesisinden çıkan tüm atıksu numunelerinin pH değerleri 8.5'den küçük olduğu için karbonat iyonuna rastlanmamıştır, karbonat değeri sıfır olarak belirlenmiştir.

Yıldıztekin (2007) yaptığı çalışmada, Muğla Karabağlar bölgesindeki kuyu sularının sulama suyu kalitesini araştırmış ve bu çalışma sonucunda tüm kuyu suyu örneklerinin pH'larının 8,5'den düşük olması dolayısıyla karbonat iyonuna rastlanmadığını bildirmiştir.

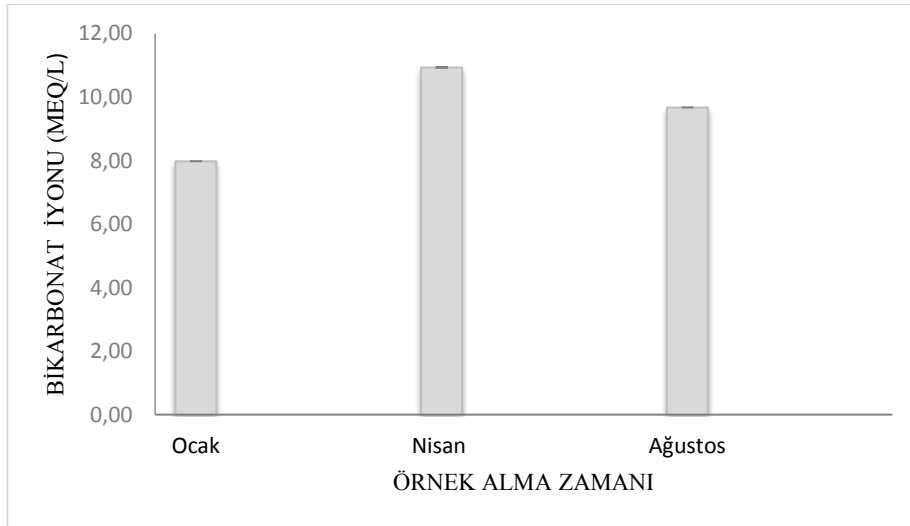
Harran Ovasındaki bazı sularda yapılan analizlerde pH değerinin 8,5'den düşük olduğu örnekleme noktalarında karbonat iyonuna rastlanmamıştır (Kirtiş 1997).

#### 4.9. Bikarbonat

Sulama suları genel olarak bir miktar kalsiyum bikarbonat taşımaktadır. Bikarbonat konsantrasyonu artınca kalsiyum çökerek ortamda sodyum hakim duruma geçmektedir. Bikarbonatın bitkiye zararlı etkisinin nedeni topraktaki sodyum konsantrasyonunun artışına neden olmasından dolayıdır (Angın 2002).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin  $\text{HCO}_3^-$  miktarı 486,17 mg/l (7,97 meq/l) ile 666,12 mg/l (10,92 meq/l) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 10,92 meq/l ile Nisan ayında alınan numunede, minimum değer ise 7,97 meq/l ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.8’de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama bikarbonat değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



Şekil 4.8. Bikarbonat iyonu değişim grafiği ve standart sapmaları

SKKY’de bikarbonat için bir kriter belirtilmemiştir ancak Çizelge 4.8’de Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) standartlarına göre tarımsal sulama için bikarbonat değeri 8,5 meq/l’t’ ye kadar izin verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** FAO standartlarına göre tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterleri (Ayers ve Westcot 1989).

FAO standartlarına göre tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterleri				
Potansiyel Sulama Problemleri	Birimsiz	Orta Derecede Kullanılabilir	Sakıncalı	
Bikarbonat ( $\text{HCO}^{-3}$ ) meq/l	>1,5	1,5 - 8,5	>8,5	

Arıtma tesisinden Nisan ve Ağustos aylarında alınan atıksu numunelerinde analiz edilen bikarbonat değeri 8,5 meq/l’nin üzerinde olduğundan sulama suyu olarak dikkatli kullanılması gerekmektedir.

Türkiye’de bazı çiftçilerin gübre ve tarım ilaçlarını fazla kullanmaları neticesinde toprak kirliliği oluşmakta ve ayrıca toprak verimsiz hale gelmektedir. Çok fazla sulama suyu kullanılması ya da düşük kaliteli su kullanımı da bitkisel üretim esnasında problemlere neden olmaktadır. Maral (2010) yaptığı çalışmada, su örneklerini Ankara, Bolu, Çorum ve Kırıkkale’den toplayarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Tarım ve Köyişleri Bakanlığına ait Ankara’daki Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Laboratuvarlarında güvenilir teknikler kullanarak bu su örnekleriyle birçok analizler yapılmıştır. Bikarbonat analizinde ise derişimler 200 mg/L’den fazla olduğundan süs bitkilerinin sulanmasında kullanılmasının uygun olmadığı bildirilmiştir.

Gökrem (2006) yaptığı çalışmada, Turhal Yenice Köyü Yapay Sulakalanı ve Turhal Kat Kasabası Yapay Sulakalanından çıkan arıtılmış suların tarımsal sulama suyu azlığı çektiklerini belirten Yenice Köyü ve Kat Kasabası için kullanım durumuna bakmıştır.

Suların tarımsal sulama amaçlı kullanımı için kalite özellikleri literatür bilgisi ışığında irdelenmiştir. Her iki sulak alanda çıkış suyunun bikarbonat değeri tarımsal sulamada kullanılabilir çıkmıştır.

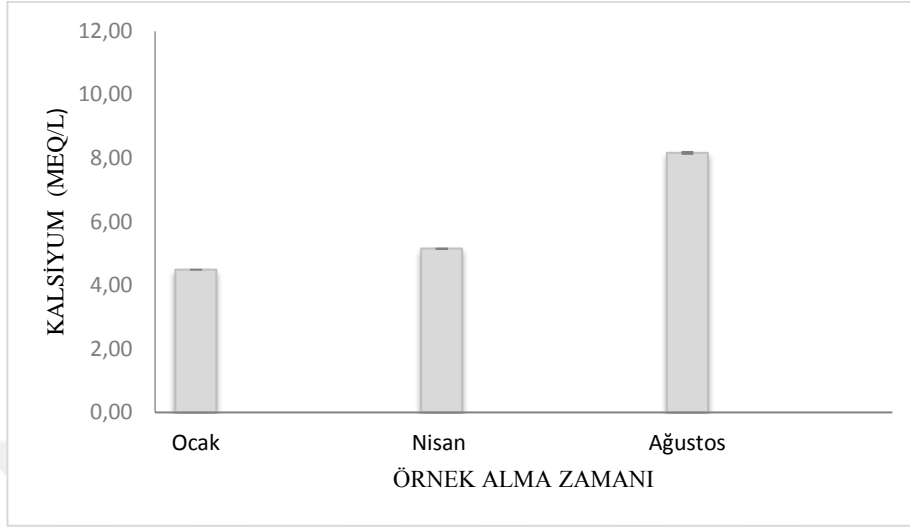
#### **4.10. Kalsiyum**

Canlı (2014) tarafından bildirildiğine göre; kalsiyum katyonunun sulama sularında yüksek oranda bulunması istenmektedir. Çünkü, kalsiyum katyonu toprakta alkaliliği yok etmekte ve toprağın fiziksel özelliklerini düzeltmektedir (Özbek 1990).

Kalsiyum, magnezyum ve alüminyum kil zerrelere yüzeyinde sodyum ve potasyuma göre daha çok tutulmaktadır. Dolayısıyla bu katyonlar kil zerrelere daha büyük şekilde bir araya gelmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak daha iyi yapıdaki tarım toprakları oluşmakta ve granule bir yapı oluşarak ortamda kalsiyum hakim olmaktadır (Ekmekçi ve ark. 2005).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin  $Ca^{+2}$  katyon değeri 90,01 mg/l (4,49 meq/l) ile 163,75 mg/l (8,17 meq/l) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 8,17 meq/l ile Ağustos ayında alınan numunede, minimum değer ise 4,49 meq/l ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.9'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama kalsiyum değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.9.** Kalsiyum değişim grafiği ve standart sapmaları

SKKY’de kalsiyum için bir kriter belirtilmemiştir ancak literatüre göre kalsiyumun sulama suyundaki uygun düzeyi 0-20 meq/L olarak belirtilmiştir (Canlı 2014). Buna göre, arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen kalsiyum değeri 0-20 meq/l arasında olduğundan sulama suyu olarak kullanılabilir.

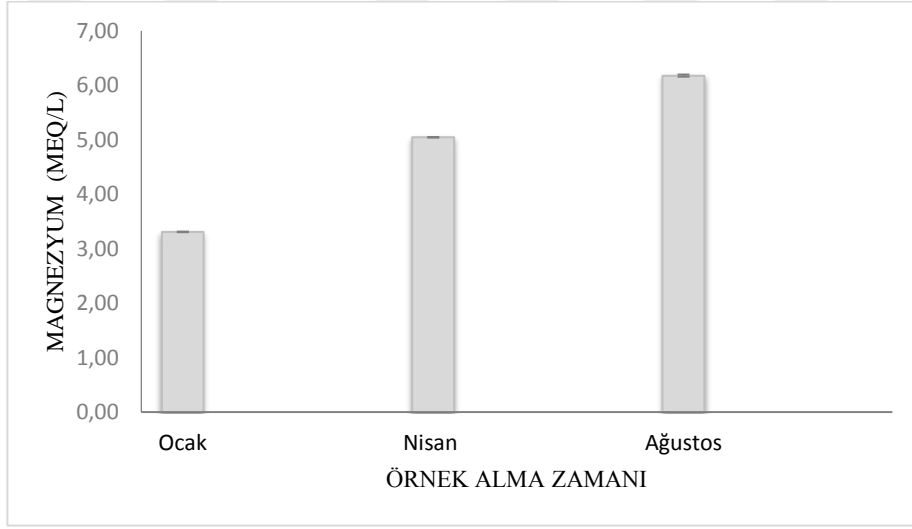
Bulut (2015) yaptığı çalışmada narenciye ağırlıklı tarımsal üretim gerçekleştirilen Mersin Ovasında, bazı yerüstü sularını ve arıtılmış atıksuları sulama suyu olarak kullanmış ve bu suların toprak, bitki ve sulama sistemleri açısından yeterliliklerini bazı genel kalite ölçütleri ile değerlendirmiştir. Yapılan kalsiyum analizine göre ovadaki suların kalsiyum konsantrasyonlarının 1,38-3,67 me/L arasında olduğu ve bu değerlerin de sulama sularında izin verilebilir sınırlar arasında yer aldığı bildirilmiştir.

#### **4.11. Magnezyum**

Magnezyum bitkilerin klorofillerinin önemli bir parçasını oluşturduğu için bitki gelişimi açısından önemli bir katyondur. Magnezyum da kalsiyum gibi iyon değişimine katılarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzeltir. Toprağın kolay işlenebilir ve daha geçirgen olmasını sağlar (Canlı 2014).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin  $Mg^{+2}$  katyon değeri 40,27 mg/l (3,31 meq/l) ile 75,04 mg/l (6,18 meq/l) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 6,18 meq/l ile Ağustos ayında alınan numunede, minimum değer ise 3,31 meq/l ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.10'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama magnezyum değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.10.** Magnezyum değişim grafiği ve standart sapmaları

SKKY'de magnezyum için bir kriter belirtilmemiştir ancak literatüre göre magnezyumun sulama suyundaki uygun düzeyi 0-5 meq/L olarak belirtilmiştir (Canlı 2014). Buna göre, arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen en büyük magnezyum değeri 6,18 meq/l olduğuna göre sulama suyu dikkatli kullanılmalıdır.

Yetiş (2013) Ceylanpınar Ovası yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesi için yaptığı çalışmada, ova için sulama suyu olarak kullanılan kuyulardan belirli dönemlerde örnekler alarak analizler yapmıştır. Örnekleme noktalarında  $Mg^{+2}$  için en yüksek değer yaklaşık 200 mg/l olarak ölçüldüğü ve bu değer de sulama suyu sınır değerini aştığı bildirilmiştir.

Şen (2008) yaptığı çalışmada, Şamran Suyu'nun (Van) fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini incelemek ve bu suyun sulama suyu olarak kullanılabilirliğini araştırmak için Şamran suyu üzerinde farklı örnekleme noktalarından numuneler alarak analizler yapmıştır. Ölçüm ve analiz sonuçları ilgili mevzuat çerçevesinde değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre  $Mg^{+2}$  değeri 15,93 - 63,48 mg/l arasında bulunmuş, en yüksek değerlerin sulama suyu sınır değeri üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.12. Sertlik

Angın (2002) tarafından bildirildiğine göre; sert sular kalsiyum ve magnezyumun fazla bulunduğu sulardır. Sulama sularında kalsiyum oranının fazla olması toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler, toprağın kolay işlenmesini sağlar ve toprağın infiltrasyon kapasitesini yükseltir (Kanber 1992, Ayers ve Westcot 1994). Dolayısıyla sulamada sert sular tercih edilmelidir (Ayyıldız 1990).

Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası-I Laboratuvarı ders verileri WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı) tarafından suların sertliklerine göre Çizelge 4.9'da gösterildiği gibi sınıflandırıldığını bildirmiştir (<http://cevre.erciyes.edu.tr/upload/M4A8NIR4-kalsiyum-magnezyum-ve-sertlik-tayini.pdf>, 2016).

**Çizelge 4.9.** Litredeki kalsiyum karbonata göre sulardaki sertliğin sınıflandırılması

Toplam sertlik (mg CaCO <sub>3</sub> /lt)	Sınıflandırma
0-75	Yumuşak su
76-100	Orta sertlikte su
101-300	Sert su
>300	Çok sert su



Milli Eğitim Bakanlığı verileri, suların sertlik derecelerinin içerdikleri CaO, MgO veya CaCO<sub>3</sub> miktarlarına göre Alman, Fransız, Amerikan ve İngiliz sertlik dereceleri olarak ifade edildiğini göstermektedir.

Buna göre;

1 Fransız sertlik derecesi = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak tanımlanır.

Buna göre; Fransız sertlik derecesine (Fr°) göre suların sınıflandırılması ise Çizelge 4.10'da gösterilmiştir

([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sular%C4%B1n%20Analiz%20Parametreleri.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sular%C4%B1n%20Analiz%20Parametreleri.pdf), 2016).

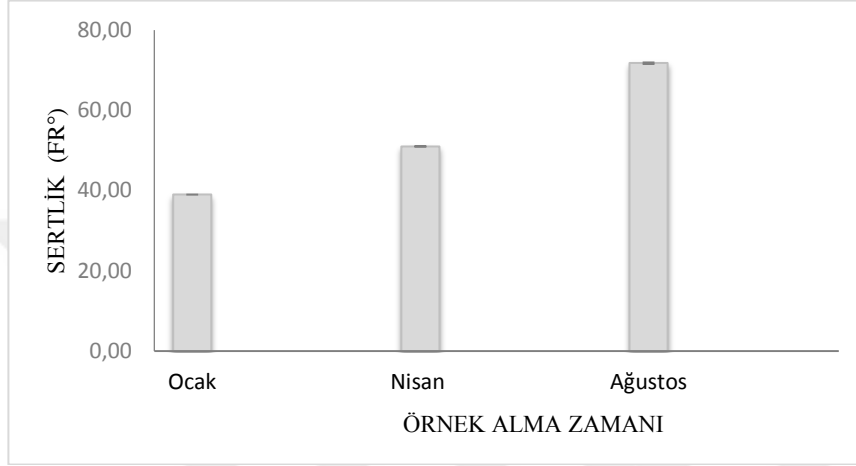
**Çizelge 4.10.** Fr° 'ye (Fransız sertlik derecesi) göre suların sınıflandırılması

Sertlik derecesi (Fr°)	Suyun sınıfı
0-7	Çok yumuşak su
7-14	Yumuşak su
14-22	Hafif su
22-32	Orta su
32-54	Sert su
>54	Çok aşırı sert su

Angın (2002) tarafından bildirildiğine göre; arıtma tesisinden çıkan su örneklerinin Fransız sertlik derecesi Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> (meq/l) miktarı toplamının beş ile çarpılması ile belirlenmiştir (Aydın ve Sezen 1995).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin sertlik dereceleri 39 (Fr°) ile 71,73 (Fr°) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 71,73 (Fr°) ile Ağustos ayında alınan numunede, minimum değer ise 39 (Fr°) ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.11’de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama sertlik değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir.



**Şekil 4.11.** Sertlik değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.10’de verilen numunelerin sertlik derecelerine göre; Ocak ve Nisan ayında alınan atıksu numuneleri sert su, Ağustos ayında alınan numune ise çok aşırı sert su olarak analizlenmiştir.

Yavuz (2011) yaptığı çalışmada Balçova ve Seferihisar yöresinden toplam otuz altı adet yeraltı ve kuyu suyu örneği alarak bu suların sulama suyu kalitesini belirlemeyi amaçlamıştır. Analiz sonuçlarına göre; Balçova yöresinden alınan sulama sularının % 70’inin çok sert, % 20’inin sert, % 10’unun ise oldukça sert sular sınıfında olduğu, Seferihisar yöresine ait suların ise % 25’inin çok sert, % 68,75’inin sert ve % 6,25’inin de oldukça sert sular sınıfında olduğu bildirilmiştir.

Dönmez (2010) yaptığı bu çalışmada, Ilgın Çavuşçu Gölü sulama kanalında su kalitesi parametrelerini incelemiştir. Belirli noktalardan düzenli olarak her ay su numunesi alınmış ve analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere göre Kalsiyum ve Magnezyum iyon konsantrasyonlarının Aralık ve Ocak ayında artması sebebiyle toplam sertliğin de bu

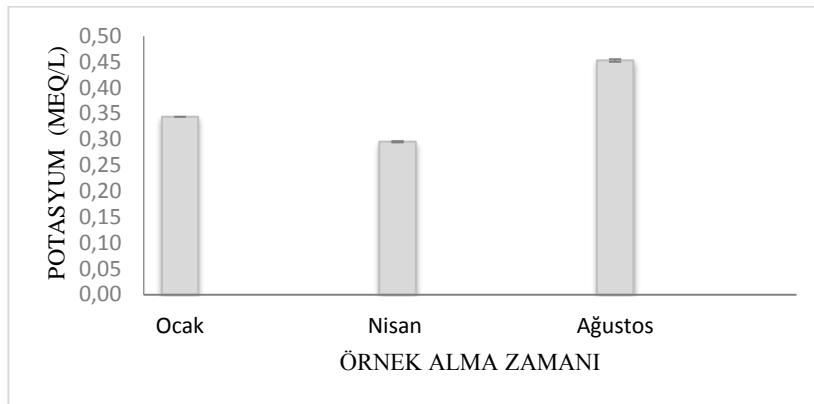
dönemlerde maksimum seviyeye ulaştığı, Mayıs ayında ise toplam sertliğin minimum seviyeye geldiği bildirilmiştir.

#### 4.13. Potasyum

Üstüner (2012) tarafından bildirildiğine göre; potasyum için sulama suyu standartlarında herhangi bir sınır değer bulunmamaktadır. Sulama sularında ki potasyum ve sodyum oranının toprağa etkisi benzer olsa da, potasyum sodyuma göre daha az zararlıdır. Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı'nda yapılan denemelerin sonuçları, değişebilir potasyumun toprak fiziksel özelliklerine çok az veya hiç etkisi olmadığını göstermiştir (Ayyıldız 1990).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin potasyum katyonu değeri 11,55 mg/l (0,3 meq/l) ile 17,69 mg/l (0,45 meq/l) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 0,45 meq/l ile Ağustos ayında alınan numunede, minimum değer ise 0,30 meq/l ile Nisan ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.12'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama potasyum değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



Şekil 4.12. Potasyum değişim grafiği ve standart sapmaları

Bitki gelişimi için gerekli olan potasyumun sulama sularındaki değeri 0-2 meq/l dir (Ayers ve Westcot 1989).

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinin potasyum katyonu miktarı 2 meq/l'den küçük olduğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.

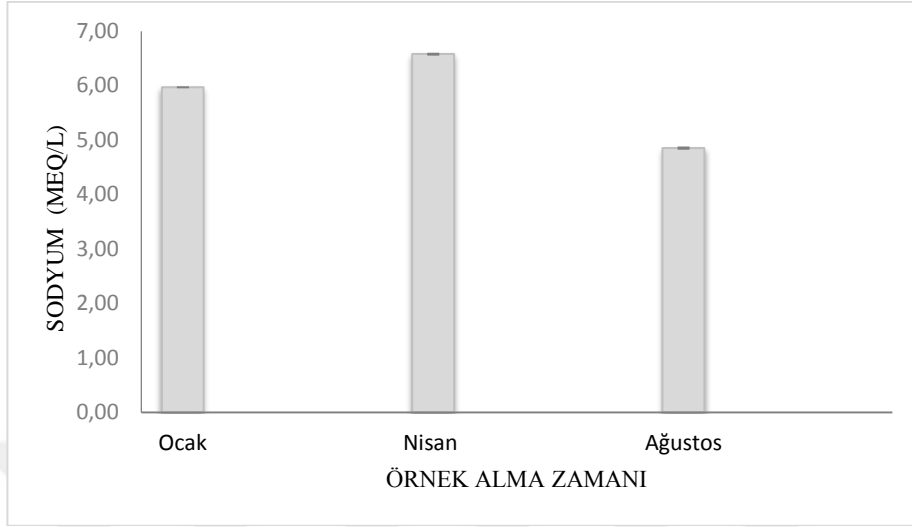
Kahraman (2015) yaptığı çalışmada, Harran Ovası genelinde yapılan tarımsal faaliyetler sonucu yeraltı suyu kalitesindeki değişimi ortaya koymak istemiştir. Harran Ovası serbest akiferini temsil eden yirmi adet kuyudan alınan yeraltı suyu örnekleri incelenmiş ve analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Potasyum değerinin ova genelinde 0,4-255,1 mg/L arasında değiştiği ölçülmüştür.

#### **4.14. Sodyum**

Sodyum değeri, bir suyun sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirler. Sodyum miktarı sulama sularında ne kadar fazla ise sodyumluluk oluşturma tehlikesi de o kadar fazladır. Bu bilgiye göre suyun toprakta meydana getirdiği tuzluluk zararı sodyum oranının yüksekliğine bağlıdır denilebilir (Dişli 1997).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin Na<sup>+</sup> katyonu değeri 111,56 mg/l (4,85 meq/l) ile 151,24 mg/l (6,58 meq/l) arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 6,85 meq/l ile Nisan ayında alınan numunede, minimum değer ise 4,85 meq/l ile Ağustos ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.13'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama sodyum değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.13.** Sodyum değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.11’de AAT Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama suyunda kullanılacak sodyum değeri verilmiştir. Buna göre sulama suyu olarak kullanılabilmesi için 9 meq/lt’ ye kadar izin verilmektedir. 9 meq/l’den büyük olan sular tehlikeli sınıfa girmektedir.

**Çizelge 4.11.** AAT teknik usuller tebliğine göre sulama suyundaki sodyum değeri

Parametre	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az - orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Özgül iyon toksisitesi				
<b>Sodyum (Na)</b>				
Yüzey sulaması	meq/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen sodyum değeri 3-9 meq/l arasında kaldığı için sulama suyu olarak II. sınıf su olduğu kabul edilmiştir.

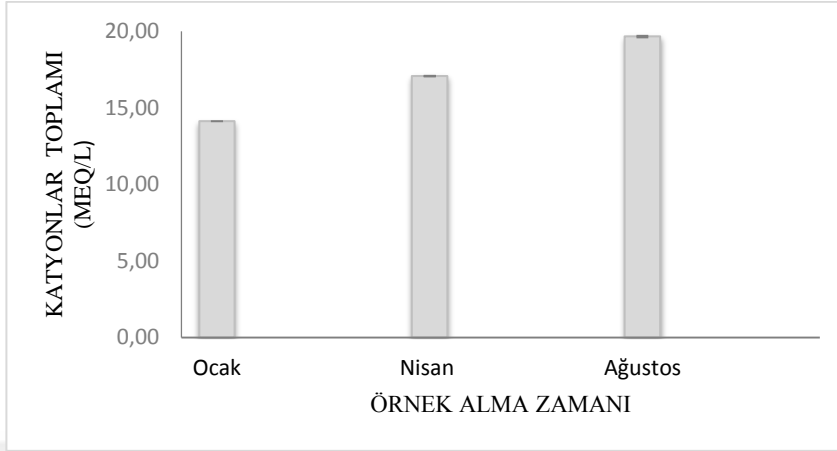
Üstüner (2012) yaptığı çalışmada, Gediz Nehri su kalite parametrelerinin zamana ve yere bağlı olarak değişimlerini incelemiştir. Buna göre sodyum değerlerinin çoğunlukla 69 mg/l'nin altında, kısmen de 69-207 mg/l arasında olduğu belirlenmiş, SKKY kriterlerine göre; I. ve II. sınıfta yer aldığı bildirilmiştir.

Özülükale (2010) yaptığı çalışmada, Fırat Üniversitesi (Elazığ) kampüs alanındaki yeraltı suyu kimyası ve kalitesi ile bu suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemek için yeraltı suyu örnekleri olarak analizler yapmış ve sonuçları standartlar doğrultusunda değerlendirmiştir. Buna göre sodyum değeri 3-33 mg/l arasında ölçülmüş ve SKKY kriterlerine göre sulama suyu olarak I. sınıf su olduğu bildirilmiştir.

#### **4.15. Katyonlar toplamı**

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin katyonlar toplamı değeri 14,12 meq/l ile 19,65 meq/l arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 19,65 meq/l ile Ağustos ayında alınan numunede, minimum değer ise 14,12 meq/l ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.14'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama katyonlar toplamı değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.14.** Katyonlar toplamı değişim grafiği ve standart sapmaları

#### 4.16. Ağır Metal ve Toksik Elementler

Kafadar (2010) tarafından bildirildiğine göre; ağır metaller bitkilerde ciddi zararlara neden olmaktadır. Bitkilerdeki stresin başlıca nedeni sulama suyunda kirliliğe neden olan herşeydir. Stres bitkilerin genetik yapısını değiştirip, fizyolojilerini etkilemekte ve dolayısıyla verimliliklerini azaltıp ölümlerine sebep olmaktadır. Ağır metal oranı bitkilerde belirli bir seviyeden sonra direk bitkinin fizyolojik fonksiyonlarını etkiler. Ağır metal ile birlikte bitkilerdeki fotosentetik aktivite sekteye uğrar, azot döngüsü ve bağlanması bozulur, klorofil miktarı azalır, enzim sistemlerinde bozulmalar oluşur ve hücre içi mekanizmalarda da olumsuz etkiler görülür (Pandey ve Sharma 2002, Taboada-Castro ve ark. 2002, Peralta-Videa ve ark. 2004).

Ada (2011), bir atıksu arıtma tesisinden temin edilen su üzerinde yaptığı analizler sonucunda bu suyun ağır metal içeriklerinin Toprak Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerlerin altında olduğunu belirlemiştir. Bu sularla sulanan parsellerden alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan ağır metal analizleri sonucunda Cd değeri yüksek çıkmış, arıtılmış atıksuyun % 75 ve % 100 uygulandığı topraklarda Toprak Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen 3 mg/kg sınır değerini aşarak sırasıyla 3,33 mg/kg ve 3,24 mg/kg olarak ölçülmüştür. Toprak örnekleri analiz sonucunda Hg değeri arıtılmış

atıksuyun % 100 uygulandığı toprakta Toprak Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen 1,5 mg/kg sınır değerini aşmış ve 1,77 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Elmacı (1995), Güney Marmara Bölgesinde sanayii domatesi yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı M. Kemalpaşa, Karacabey ve Biga yörelerinde toprak, sulama suyu ve domates meyvelerinin iz element ve ağır metal miktarlarını araştırmış, kirlilik durumlarını belirlemeye çalışmıştır. İz element ve ağır metallere kurşun, bakır, kobalt, nikel, krom ve kurşun miktarları incelenen tüm sularda sınır değer altında bulunmuştur.

Balçova ve Seferihisar yörelerinde tarımsal sulama suyu olarak kullanılan yeraltı sularının sulama suyu kalitesi ile ağır metal içeriklerinin saptanması amacıyla analizler yapılmıştır. Buna göre su örneklerinin iz element ve ağır metaller içeriklerinin (demir, çinko, mangan, kobalt, bakır, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, baryum, ve alüminyum) konsantrasyonlarının düşük düzeylerde olduğu ve her iki yörede de bu elementler yönüyle herhangi bir kirlilik sorununun olmadığı belirlenmiştir (Yavuz 2011).

Üzerinde çalıştığımız arıtma tesisi evsel nitelikli atıksularının arıtıldığı bir tesis olduğu için atıksuların içeriğinde ağır metal ve toksik elementler olmadığı kabulü yapılmıştır.

#### **4.17. Tuzluluk (Toplam Tuz Konsantrasyonu)**

Tuzluluk, topraktaki ve sudaki tuzların toplamı olarak belirtilir ve TÇM şeklinde ölçülmektedir. TÇM ve EC arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır;

$$EC < 5 \text{ dS/m ise } TÇM \approx EC \times 640$$

$$EC > 5 \text{ dS/m ise } TÇM \approx EC \times 800$$

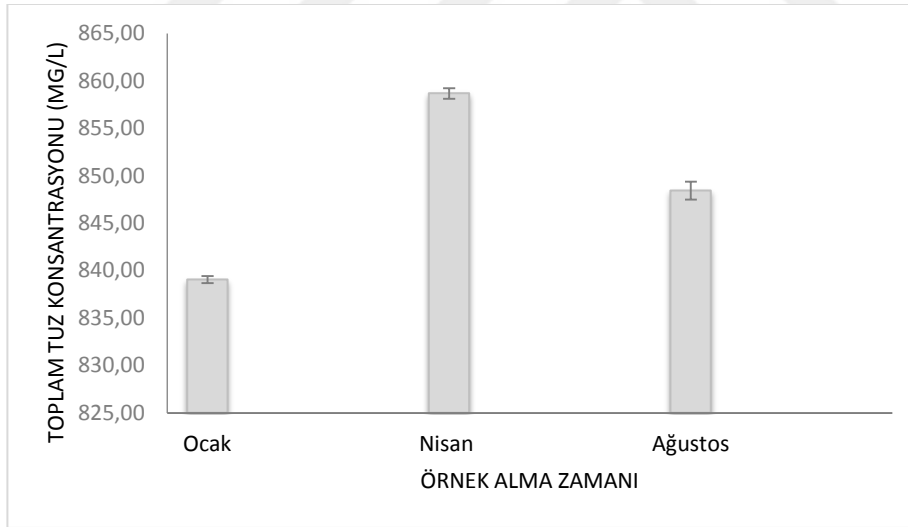
Tuzluluğun artması ile bitki topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücrendeki suyu toprağa verir ve gelişimi engellenir. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. Değerin 500-1 000 mg/L arasında olması durumunda ise hassas bitkiler etkilenebilir. 1000-2000 aralığında ise bir çok bitki



etkilenmekte ve dolayısıyla sulama suyunun dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. TÇM değeri 2 000 mg/L'nin üzerinde olan sulama suları ise tuzluluğa dayanıklı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir (Anonim 2010a).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin toplam tuz konsantrasyon değeri 839,04 mg/l ile 858,67 mg/l arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 858,67 mg/l ile Nisan ayında alınan numunede, minimum değer ise 839,04/l ile Ocak ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.15'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama toplam tuz konsantrasyonu değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak büyük salınım göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.15.** Toplam tuz konsantrasyonu değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.12'de SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulama sularındaki toplam tuz konsantrasyonu verilmiştir. Buna göre konsantrasyon değeri 175 mg/l'ten küçük olduğu zaman I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ise 1 400 mg/l'te kadar izin verilmektedir.

**Çizelge 4.12.** SKKY teknik usuller tebliğine göre toplam tuz konsantrasyonu değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen toplam tuz konsantrasyonu 525-1 400 mg/l arasında olduğundan III. sınıf su (kullanılabilir) olduğu tespit edilmiştir.

Okumuş (2011) yaptığı çalışmada, Konya-Ereğli İvriz Sağ Sahil Sulama Birliği sulama sahasındaki tarım arazileri ile ve bu arazilerin sulanmasında kullanılan yeraltı su kaynaklarının sulama suyu kalitesi açısından etkileşimlerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre sulama sularının EC değerlerinin 820-4 103 mhos/cm arasında değiştiği, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Sınıflandırma sistemine göre C<sub>3</sub>ve C<sub>4</sub> sulama suyu sınıfında olduğu ve aynı zamanda yüksek tuzlu ve çok yüksek tuzlu olduğu bildirilmiştir. Sulama suyu kalitesi ise tuzluluk yönünden olumsuzdur ve araştırma alanındaki topraklarda da henüz tehlikeli seviyelerde bir tuzlulaşma görülmemiştir.

Çaçık (2008) yapmış olduğu çalışmada Konya-Karatay-Çengilti köyü tarım arazileri ile sulama suyu kaynaklarının tuzluluk ve sodyumluluk durumlarını belirlemeye çalışmıştır. Toprakta belirli derinliklerden örnekler alınmıştır. Ayrıca bu toprakların sulanmasında kullanılan yer altı sularından ve ana drenaj kanalından yaz ve güz dönemlerinde su örnekleri alınmıştır. Toprak ve su örneklerinde yapılan analizler sonucunda örneklerin % 47,4'ü T<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, % 26,3'ü T<sub>4</sub>S<sub>1</sub> ve % 26,3'ü T<sub>4</sub>S<sub>2</sub> sulama suyu sınıfına girdiği ve tuzluluk açısından sulamada kullanılmasının mevcut drenaj şartlarında uygun olmadığı, sodyumluluk yönünden ise dikkatli olunması gerektiği bildirilmiştir.

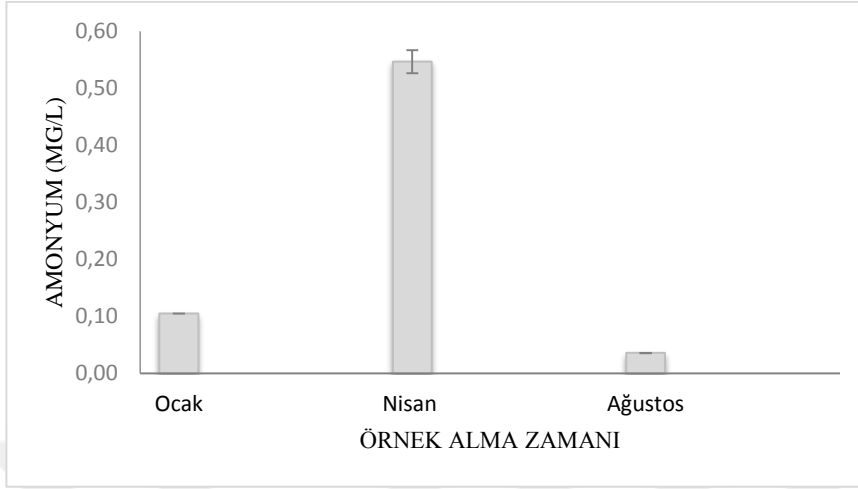
Kirtiş (1996) yaptığı çalışmada Mart ve Temmuz aylarında Harran Ovasının bazı bölümlerinden alınan yirmi altı adet yer altı ve yer üstü sularının kimyasal özelliklerini belirlemiş, bu özellikler arasındaki ilişkileri istatistiksel yönden araştırmış ve sulama suyu kalitesi açısından değerlendirmiştir. Analizler sonucunda, suların önemli bir kısmının orta tuzlu ve az sodyumlu sular sınıfına ( $C_2S_1$ ) girdiği, suların Mart ve Temmuz aylarındaki kalite sınıflarında önemli bir değişiklik olmadığı ve çalışmada kullanılan suların kesinlikle sulama suyu olarak kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir.

#### **4.18. Amonyum**

Sulama suyundaki amonyum tuzları topraklarda dispersiyonu artırır ve geçirgenliği düşürür. Fakat bu etki sürekli devam etmez (<http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/15/168/1349.pdf>, 2016).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin amonyum değeri 0,04 mg/l ile 0,55 mg/l arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 0,55 mg/l ile Nisan ayında alınan numunede, minimum değer ise 0,04 mg/l ile Ağustos ayında alınan numunede ölçülmüştür.

Şekil 4.16'de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama amonyum değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak değişiklik göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.16.** Amonyum değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.13’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki amonyum değerleri verilmiştir. Buna göre ölçülen değer 0-5 mg/l’ten arasında olduğu zaman I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ise 30 mg/l’t’ ye kadar izin verilmektedir.

**Çizelge 4.13.** SKKY teknik usuller tebliğine göre amonyum değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen amonyum değeri 0-5 mg/l arasında olduğundan I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir ve sulama suyu olarak kullanılabilir.

Karataş (1999) yaptığı çalışmada Menemen Ovası’nda kullanılması düşünülen İzmir kentsel atıksuyunun arıtma öncesi mevcut olan ve arıtma sonrası tahmin edilen kalite

özelliklerine göre tarımsal sulama amaçlı kullanım durumunu SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre incelemiştir. Arıtma öncesi atıksudaki amonyum azotu değerinin 54 mg/l olduğu, SKKY'ye göre V. sınıf bir su olarak kabul edilen bu atıksuyun herhangi bir arıtıma tabi tutulmadan sulamada kullanılması durumunda toprak ve bitki yönünden bir takım zararlara neden olacağı bildirilmiştir. Arıtma sonrası atık sudaki amonyum azotu değerinin 10 mg/l altında olduğu tahmin edilerek bu atıksuyun II. sınıf su olduğu ve dolayısıyla bu ovada yetiştirilen bitkilerin ihtiyaç duyacağı N'li gübrenin tamamının bu atıksu ile yapılacak sulamalarla karşılanacağı bildirilmiştir.

Aydoğan (2013) yaptığı çalışmada, Edirne'de bulunan her ilçede ki sulama suyu kaynaklarının kalitelerinin belirlenmesini amaçlamış, bu amaç doğrultusunda belirli dönemlerde kaynaklardan örnekler alarak analizlerini yapmıştır. Örneklerdeki amonyum azotu konsantrasyonlarının 0,1 – 0,7 mg/l arasında değiştiği görülmüştür. Buna göre; Ekim ve Mayıs ayında alınan tüm örneklerin I. sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir.

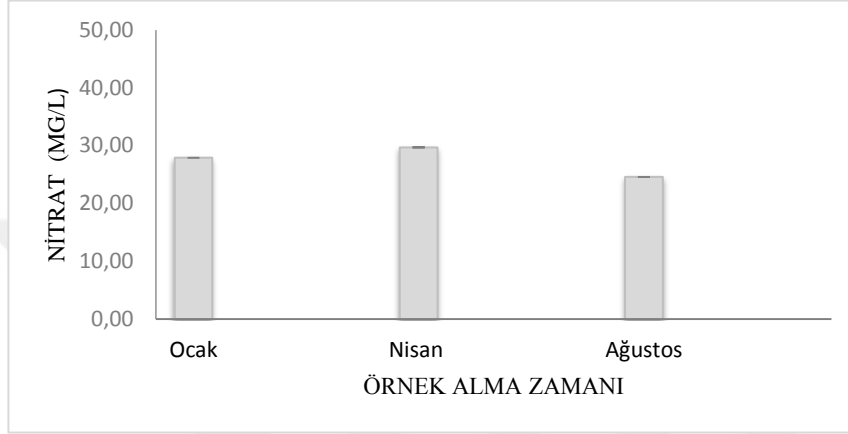
#### **4.19. Nitrat**

Bitki büyümesi için önemli olan nitrat tuzları suda kolay çözünmekte ve yıkanmaktadır. Sulama sularında nitratların belirli seviyede olması verimlilik açısından önemlidir ancak fazla miktarda nitrat oranı, toprakta kimyasal birikime neden olmaktadır (Bulut 2015).

Toprakta stabil olmayan bir azot kaynağı olan nitrat, sulardaki bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Nitratın bir kısmı bitkiler tarafından alınmaktayken bir kısmı da gaz halinde denitrifikasyona uğramaktadır. Geri kalan kısmı ise taban suyuna karışmaktadır. Sulara karışan ya da bitki bünyesinde biriken nitrat çevreyi kirletmektedir (Yavuz 2011).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin nitrat değeri 19,51 mg/l ile 20,27 mg/l arasında değişim göstermektedir. Maksimum değer 20,27 mg/l ile Ağustos ayı numunesinde, minimum değer ise 19,51 mg/l ile Ocak ayı numunesinde ölçülmüştür.

Şekil 4.17’de farklı zamanlarda alınan örneklerin ortalama nitrat değerleri ve standart sapmaları gösterilmiştir. Buna göre ölçülen değerlerin dönemsel olarak değişiklik göstermediği görülmüştür.



**Şekil 4.17.** Nitrat değişim grafiği ve standart sapmaları

Çizelge 4.14’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne göre sulama sularındaki nitrat değerleri verilmiştir. Buna göre ölçülen değer 0-5 mg/lt’den arasında olduğu zaman I. sınıf sulama suyu kategorisine girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ise 30 mg/lt’ ye kadar izin verilmektedir.

**Çizelge 4.14.** SKKY teknik usuller tebliğine göre nitrat değeri

Sulama suyu sınıfı					
Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50

Arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde analiz edilen nitrat değeri 10-30 mg/l arasında olduğundan III. sınıf su (kullanılabilir) olduğu tespit edilmiştir.

Yinanç (2013) yaptığı çalışmada, Kahramanmaraş Sağ Sahil sulama alanında yer altı sularının kalite parametrelerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu kapsamda sulama amaçlı kullanılan yeraltı sularının kalitesi belirlenerek sulama suyu açısından sınıflandırılmıştır. Nitrat değerlerinin olduğu belirlenmiş, bu duruma yoğun gübre kullanımı, tarım ilaçları ve hayvan artıklarının neden olabileceği bildirilmiştir.

Karadavut (2009), Aksaray Bölgesinde bulunan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının sulama suyu kalitesinin belirlenmesi, etkin sulama açısından değerlendirilmesi ve sulama dönemine ait bölge sulama suyu kalite indeksinin oluşturulması amacı ile bir çalışma yürütmüştür. Yapılan analizlere göre; nitrat değerlerinin sulama açısından sınır değerinin altında yer aldığı, 0 – 10 mg/L arasında değiştiği görülmüştür. Dolayısıyla  $\text{NO}_3^-$  açısından yerüstü su kaynaklarının I. sınıf su, yeraltı su kaynaklarının ise I. ve II. sınıf su kalitesi özellik gösterdiği bildirilmiştir.

#### **4.20. Sulama Suyu Sınıfı**

Demir (2013) tarafından bildirildiğine göre; suların elektriksel iletkenliklerine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir (Richards 1954).

**Az Tuzlu Sular ( $C_1$ ):** EC değeri 0–250 micromhos/cm arasında olan sulardır. Çok az çözünebilir tuz içerir. Dolayısıyla her türlü toprak için sulama suyu olarak kullanılabilirler.

**Orta Tuzlu Sular ( $C_2$ ):** EC değeri 250–750 micromhos/cm olan sulardır. Orta derecede tuz içerirler. Dolayısıyla tuza orta derecede dayanıklı bitkiler için sulama suyu olarak kullanılabilirler.

Fazla Tuzlu Sular (C<sub>3</sub>): EC değeri 750–2 250 micromhos/cm arasında olan sulardır. Geçirgenliği az ve yetersiz drenaj koşullarına sahip topraklarda, özel toprak idaresi uygulanmadan sulama suyu olarak kullanılamazlar.

Çok Fazla Tuzlu Sular (C<sub>4</sub>): EC değeri 2 250–5 000 micromhos/cm arasında olan sulardır. Çok yüksek konsantrasyonlarda çözünebilir tuz içerdiklerinden normal koşullarda sulama suyu olarak kullanılamazlar.

Sulama sularının SAR'a göre sınıflandırılması aşağıda belirtildiği gibidir:

Düşük Sodyumlu Sular (S<sub>1</sub>): SAR değeri 0-10 arasında olan sulardır. Bu sular her türlü toprak koşullarında sulama suyu olarak kullanılabilirler ve toprağın fiziksel özellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etki yapmazlar.

Orta Sodyumlu Sular (S<sub>2</sub>): SAR değeri 10–18 arasında olan sulardır. Bu sular yüksek geçirgenliğe sahip topraklar ile organik topraklarda rahatlıkla kullanılabilirler. Yüksek kation değişim kapasitesine sahip topraklarda yetersiz yıkama koşullarında alkalilik zararı oluştururlar.

Yüksek Sodyumlu Sular (S<sub>3</sub>): SAR değeri 18–26 arasında olan sulardır. Bu sular birçok toprakta zararlı seviyede değişebilir sodyum birikmesi meydana getirir. Bu suların kullanılabilmesi için iyi bir drenaj sisteminin, yeterli yıkamanın ve toprağa organik madde ilavesinin yapılması gerekir.

Çok Yüksek Sodyumlu Sular (S<sub>4</sub>): SAR değeri 26'dan fazla olan sulardır. Bu sular sulama suyu olarak kullanılmamalıdır. Ancak, toplam tuz konsantrasyonu düşük topraklarda yıkama yapmak, jips ve benzeri ıslah maddeleri kullanmak suretiyle kısıtlı oranlarda kullanılabilirler.

Çizelge 4.15'de görüldüğü gibi arıtma tesisinden farklı zamanlarda alınan tüm atıksu numuneleri C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> sulama suyu sınıfındadır.



**Çizelge 4.15.** Numunelerin sulama suyu sınıfları

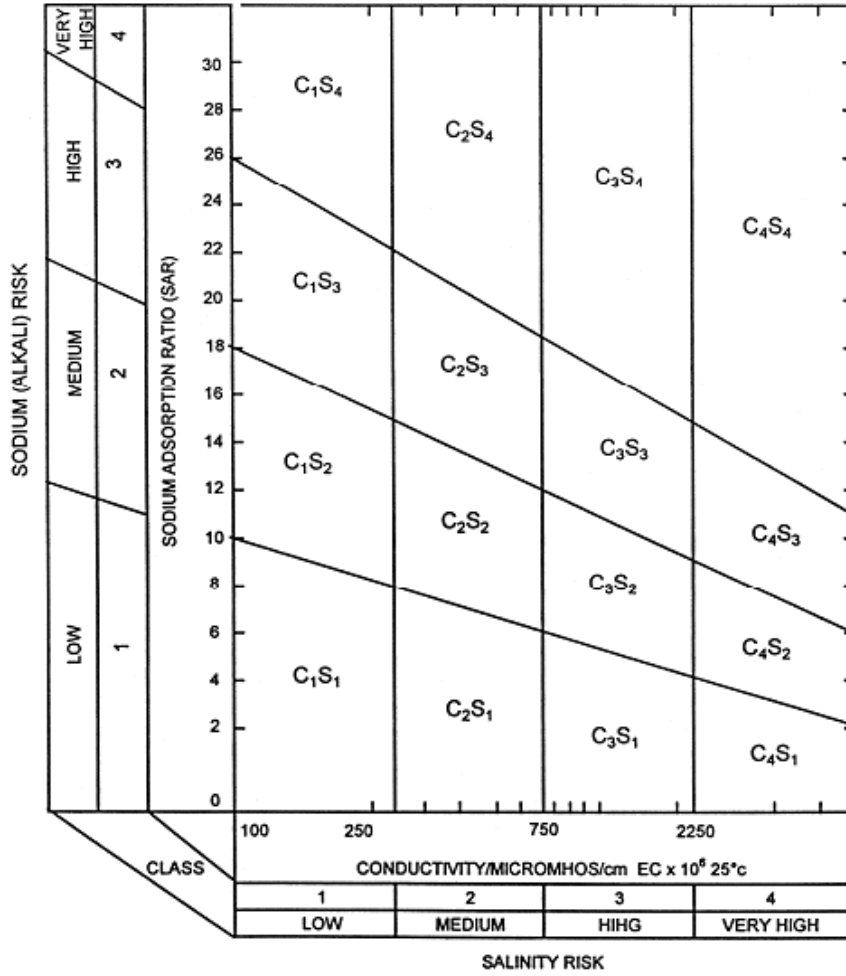
Parametre	Örnek Alma Zamanı								
	Ocak			Nisan			Ağustos		
Sulama Suyu Sınıfı	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

Çizelge 4.16’de SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulama suyu sınıfları verilmiştir.

**Çizelge 4.16.** SKKY teknik usuller tebliğine göre sulama suyu sınıfı

Kalite kriterleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
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>2</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	-

Şekil 4.18’de ki sulama suyu sınıflandırma grafiğine göre ve EC, SAR değerlerine göre arıtma tesisinden farklı dönemlerde çıkan tüm atıksu numunelerinde sulama suyu sınıfı C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> olduğundan III. sınıf su (kullanılabilir) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. Sulama suyu sınıflandırma grafiği

Işık (2014) yaptığı çalışmada, Sivas ili Hafik ilçesinde bulunan TASS kaynaklarının sulama suyu kalitesinin belirlenmesini amaçlamıştır. Su örnekleri Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında on iki kaynaktan toplam altmış adet olarak alınmıştır. Su örneklerinin EC değerlerinin 185 – 501  $\mu\text{mhos/cm}$  arasında değiştiği görülmekte olup az tuzlu ve orta tuzlu su niteliğindedir. Örneklerin SAR değerinin 0,96 – 3,78 arasında değiştiği ve suların C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> sınıfına girdiği görülmüştür.

Dökmen (2012) yaptığı çalışmada, Yalova bölgesindeki bazı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının sulama, içme ve kullanma yönünden kalite niteliklerinin belirlenmesi amaçlamıştır. Araştırmada incelenen su kaynaklarından alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal analizleri standartlara göre yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, kuyu sularından ikisi  $T_3A_1$  (yüksek tuzlu-az sodyumlu), üçü  $T_2A_1$  (orta tuzlu-az sodyumlu), yerüstü su kaynaklarından bazıları  $T_2A_1$ , bazıları ise  $T_1A_1$  (az tuzlu-az sodyumlu) sulama suyu sınırındadır.

Turan (2001) yaptığı çalışmada, Bursa ili İznik ve Orhangazi yöresinde değişik su kaynaklarıyla sulanan toprakların verimlilik durumlarını ortaya koyabilmek amacıyla sulamadan önce ve sulamadan sonra olmak üzere iki dönemde toprak ve su örnekleri almıştır. Su kaynakları sulama suyu kalitesi yönünden, akarsu için  $C_2S_1$  göl suyu ve artezyen için  $C_3S_1$  olarak sınıflandırılmıştır.

Balıköl havzasında sudaki kirliliğin mevcut durumunu tespit etmek amacıyla havza içerisinde belli noktalardan su örnekleri alınarak analizler yapılmıştır. ABD Tuzluluk diyagramına göre havza içinde ölçülen noktalardaki suların;  $C_3S_2$ , “tuzlu sular-orta sodyumlu sular”,  $C_2S_2$  “orta tuzlu ve sodyumlu sular” ve  $C_2S_1$  “orta tuzlu-az sodyumlu sular” sınıfında yer aldığı ve tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılabilceği bildirilmiştir (Yetiş 2015).

## 5. SONUÇ

Kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksularının Ocak, Nisan ve Ağustos dönemlerine ait paket atıksu arıtma sistemi çıkışından alınan numuneleri mevsimsel açıdan istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yürütülen bu tez çalışması neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Değişebilir sodyum yüzdesi açısından değerlendirme yapıldığında Ocak ayında alınan numunenin III. sınıf su (kullanılabilir) kalitesinde, Nisan ve Ağustos ayında alınan numunelerin ise II. sınıf su (iyi) kalitesinde olduğu tespit edilmiştir.

2. Sertlik açısından değerlendirme yapıldığında sulama suyu kalitesi, sert su niteliğindedir. Sularda Ca ve Mg konsantrasyonlarının fazla olması sertliği artırmaktadır. Tüm su numunelerinde ölçülen Ca ve Mg değerlerine göre sular sulama suyu olarak kullanılabilir. Sert su ile sulanan toprak kolay işlenir, infiltrasyon kapasitesi artar. Dolayısıyla sulamada sert sular tercih edilmelidir .

3. SAR, RSC ve amonyum açısından değerlendirme yapıldığında sulama suyu kalitesinin I. sınıf su (çok iyi) olduğu tespit edilmiştir.

4. Nitrat açısından değerlendirme yapıldığında sulama suyu kalitesinin III. sınıf su (kullanılabilir) olduğu tespit edilmiştir.

5. pH, Sülfat, Potasyum açısından değerlendirme yapıldığında sulama suyu kalitesi, yeşil alan sulamasında kullanılabilir niteliktedir.

6. Tesisten çıkan atıksu klor açısından değerlendirildiğinde, I. sınıf su, sodyum açısından değerlendirildiğinde ise II. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Klor ve sodyum iyonu fazla olan arıtılmış atıksular ile sulanan bitkilerde, klor ve soydum direk yaprak

yüzeyinden absorbe edildiği için bitkide toksik iyon birikimi fazla olur. Bu sular geçirgenliği düşük topraklarda da sorun oluşturur.

7. Tuzluluk ve elektriksel iletkenlik açısından bu atıksuyun SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre sulama suyu olarak kullanılabilirliği araştırıldığında; III.sınıf su (kullanılabilir) kategorisine girdiği için sulamada dikkatli kullanılması, düşük permabilite ve yetersiz drenaj koşullarına sahip topraklarda sulama suyu olarak kullanılmasının tuzluluk sorunu yaratabileceği bilinmelidir. Uygun drenaj koşullarında bu sınıf sular, tuza orta deceden iyi dereceye kadar dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Yine de bu atıksuların toprakta ve bitki gelişimi üzerinde oluşturabileceği olumsuzlukları engellemek için bu suların kontrollü kullanımı ya da seyreltilerek tuz etkisi azaltılıp kullanılması sağlanmalıdır.

Çalışma kapsamında incelenen arıtılmış atıksu örneği SKKY Teknik Usuller Tebliği'ndeki sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri göre farklı parametreler açısından I. II. ve III. sınıf su kalitesinde bulunmaktadır. SKKY'ne göre o gruba ait en düşük kalite sınıfı o grubun sınıfını belirlediğinden arıtılmış atıksu örneği III. sınıf kalitede bir su olarak kabul edilmiştir. Suların elektriksel iletkenlikleri ve SAR değerlerine bakıldığında sulama suyu sınıfı C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> olarak değerlendirilmektedir. Bu durumda çalışmada kullanılan su sulama suyu olarak kullanılabilir. Ancak gerçek uygulamalarda bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmamasına karar vermeden önce koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonlarına da bakılması gerekmektedir. İncelenen arıtılmış atıksu örneği dezenfekte edilmiş olduğundan, belirgin bir bakteri inaktivasyonunun gerçekleştiği düşünülmekle birlikte, tesis atıksuyunun mikrobiyolojik açıdan incelenmesi yerinde olacaktır. Patojen değeri standartlara göre sulama suyu açısından risk oluşturmuyorsa atıksular arıldıktan sonra derin deşarj ile denize verilmek yerine sulama suyu olarak kullanılabilir.

Atık suların arıtılıp tarımsal sulama suyu olarak kullanımında fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik faktörler mutlaka dikkate alınmalıdır. Suda fiziksel-kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapılarak sulanan bitkilerin zarar görmemesi, toprağın kirletilmemesi ve atık suyla temas eden insanların sağlık risklerinin en aza indirilmesi için

bu sular mutlaka standartlar ışığında değerlendirilmelidir. Arıtılmış atıksu kullanımı sayesinde yer altı suyuna olan ihtiyacın azalacağı ve dolayısıyla deniz suyunun yer altı suyuna karışması riskinin de engelleneceği unutulmamalıdır. Ayrıca evsel atıksularda bulunan azot ve fosfor miktarı bitkinin gübre ihtiyacını belli bir oranda azaltacağı için yetiştiricilere ekonomik anlamda da katkı sağlanmış olacaktır. Atık suların arıtıldıktan sonra ilgili parametre ölçümleri yapıp tarımda kullanılması teşvik edilmeli ve yaygınlaştırılıp yapay gübre gereksinimi azaltılmalıdır. Bu sayede atıksularla sulanan toprağın organik madde içeriği artacak, havalanması kolaylaşacak ve su tutma kapasitesi de artış gösterecektir. Özellikle evsel nitelikli arıtılmış atıksuların kullanılması ve değerlendirilmesi gelecek nesiller için çok önemlidir. Bu atıksuların standartlara uyana kadar arıtılarak temizlenmesi ve kullanımının bir an önce yaygınlaştırılması, temiz su kaynaklarının korunması açısından son derece önemlidir.

## KAYNAKLAR

- Ada, H. 2011.** Kocaeli kentsel arıtılmış atık sularının sulamada kullanım olanaklarının araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, NKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Al-Shammiri M., Al-Saffar A., Bohamad S., Ahmed M. 2005.** Waste water quality and reuse in irrigation in Kuwait using microfiltration technology in treatment, *Desalination*, 185(1-3):213-225.
- Ammary, B. Y. 2007.** Wastewater reuse in Jordan: present status and future plans. *Desalination*, 211 (1-3): 64–176.
- Anderson, J. 2003.** The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Science Techonology: Water Supply*, 3(4), :1-10.
- Andreadakis, A., Gavalaki, E., Mamais, D., Tzimas, A. 2001.** Wastewater reuse criteria in Greece. 7th Conference on environmental science and technology, 3 -6 September 2001, Ermoupolis, Syros Island, Greece.
- Angın, İ. 2002.** Erzurum kentsel atıksuları ile sulanan tarımsal alanlarda ortaya çıkan sorunlar ve çözüm önerileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Anonim, 1991.** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 20748 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonim, 1994.** Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No: 29, FAO, Rome.
- Anonim, 1996.** Su kalitesi-elektriksel iletkenlik tayini, TS 9748 EN 27888.
- Anonim, 1998.** Su kalitesi-alkalinite tayini, bölüm 1: toplam ve bileşik alkalinite tayini, TS 3790 EN ISO 9963-1.
- Anonim, 2000.** Su kalitesi-su ve atık sularda çözünmüş  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  ve  $Ba^{2+}$ 'nin tayini- iyon kromatografisi metodu, TS EN ISO 14911.
- Anonim, 2004a.** Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonim, 2004b.** Guidelines for water reuse. EPA, Washington, DC, 450 pp.
- Anonim, 2009.** Sulama suyu, TS 7739.
- Anonim, 2010a.** Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 27527 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonim, 2010b.** Su kalitesi-çözünmüş florür, klorür, nitrit, ortofosfat, bromür, nitrat ve sülfat iyonlarının sıvı iyon kromatografisi ile tayini, bölüm 1-az kirlenmiş sular için metot, TS EN ISO 10304-1.
- Anonim, 2011a.** Suların analiz parametreleri. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara. [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sular%C4%B1n%20Analiz%20Parametreleri.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sular%C4%B1n%20Analiz%20Parametreleri.pdf)-(Erişim tarihi: 17/04/2016).
- Anonim, 2011b.** Türkiye çevre durum raporu 2011, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı çevresel etki değerlendirmesi izin ve denetim genel müdürlüğü, Yayın No:11, Ankara.
- Anonim, 2013.** Su Kalitesi - Ph Tayini, TS EN ISO 10523.
- Anonim, 2016.** Kalsiyum, magnezyum ve sertlik tayini. <http://cevre.erciyes.edu.tr/upload/M4A8NIR4-kalsiyum-magnezyum-ve-sertlik-tayini.pdf>-(Erişim tarihi:17/04/2016)

- Arıkan, A. 2007.** İkizce (Haymana-Ankara) ve çevresindeki yer altı sularının kimyası ve bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Arslan-Alaton, İ., Tanık, A., Ovez, S., İskender, G., Gürel, M., Orhon, D. 2007.** Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluents in Turkey: a case study on selected plants, *Desalination*: 215(1-3):159-165.
- Asano, T., Cotruvo, J. A. 2004.** Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research*, 38(8):1941-1951.
- Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2005.** Gıda sanayii arıtma tesisi atık suyunun sulama suyu olarak kullanım olanağı. *UÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2): 23-31.
- Aydoğan, F. 2013.** Edirne ilindeki sulama suyu kaynaklarının kalitesi ve ağır metal içeriklerinin tespiti. *Yüksek Lisans Tezi*, NKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Ayers, R.S., Wescot D.W. 1989.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage, Paper no:29, Rome-Italy, 174 pp.
- Balcıoğlu, G. 2013.** Biyolojik olarak arıtılmış ekmek mayası endüstrisi atıksularının ileri arıtım alternatiflerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bazza, M. 2002.** Wastewater reuse in the near east region: experience and issues. Regional symposium on water recycling in the Mediterranean Region, 2002, Iraklio, Crete, Greece. <http://www.fao.org/3/a-ae528e.pdf>- (Erişim tarihi: 19.10.2015).
- Bedbabis, S., Rouina, B.B., Boukhris, M., Ferrara, G. 2013.** Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133:45-50.
- Bixio, D., Thoeve, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T. 2006.** Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187(1-3): 89–101.
- Bozdoğan, E. 2009.** Kentsel atıksuların yapay sulak alanda arıtılması ve açık yeşil alan sulamalarında kullanılabilme olanaklarının araştırılması. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Adana.
- Bulut, S. 2015.** Mersin ovasında bitki su gereksinimleri ve sulama sularında kaliteye bağlı olası etkilerin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Büyükdere, A. 2008.** Tekstil endüstrisi atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Büyükkamacı, N. 2009.** Su yönetiminin etkin bileşeni: yeniden kullanım. İzmir kent sorunları sempozyumu, 363-377. <http://www.tmmobizmir.org/wp-content/uploads/2014/05/200833.pdf>-(Erişim Tarihi: 08-11-2015).
- Candela, L., Fabregat, S., Josa, A., Suriol, J., Vignes, N., Mas, J. 2007.** Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain). *Science of the total environment*, 374(1): 26–35.
- Canlı, Ş. 2014.** Menemen ovasında tarımsal su gereksinimi ve sulama sularının bitki, toprak ve sulama sistemleri açısından olası etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.



- Çaçık, S. 2008.** Konya Karatay Çengilti köyü arazilerinin tuzluluk-sodyumluluk yönünden incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Çakmak, B., Yıldırım, M., Aküzüm, T. 2008.** Türkiye’de tarımsal sulama yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10929.pdf>- (Erişim tarihi: 10.05.2014).
- Çalışkan, D. 2010.** Ankara çayının tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Çapar, G., Yetiş, Ü., Yılmaz, L.2004.** Halı Boyama Atıksularının Membran Prosesleri İle Arıtımı, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 14(2): 9-15.
- Demir, D.R. 2013.** Silifke ovası seracılık işletmelerinde, su kaynaklarının kalite yönünden incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Dişli, Y. 1997.** Antalya İli Kale (Demre) İlçesi Yer altı Sulama Suyu Kalitesi Üzerine Bir Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Dorak, S. 2015.** Nilüfer Çayı ve Nilüfer Çayı'na deşarj edilen kimi arıtma tesisi atık sularının sulama suyu kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Bursa.
- Dökmen, F. 2002.** Yalova yöresindeki bazı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kalite niteliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yalova yöresindeki bazı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kalite niteliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Doktora Tezi*, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Edirne.
- Dönmez, Z.K. 2010.** Ilgın Çavuşçu Gölü sulama kanalında su kalitesi parametrelerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Ekmekçi, E., Apan, M., Kara, T. 2005.** Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20(3): 118-125.
- Elmacı, Ö.L. 1995.** Güney Marmara bölgesi sanayi domates alanlarındaki toprak, sulama suyu ve domates meyvelerinde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. *Doktora Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, İzmir.
- Fatta, D. 2005.** Good practice examples on the utilization of treated wastewater for irrigation purposes. University of Cyprus Civil and Environmental Engineering Department, Israel. [uest.ntua.gr/archive/medaware/publications/Aquastress\\_cy\\_2.ppt](http://www.uest.ntua.gr/archive/medaware/publications/Aquastress_cy_2.ppt)- (Erişim Tarihi: 17.01.2016)
- Gerhart, V.J., Kaneb, R., Glenn, E.P. 2006.** Recycling industrial saline wastewater for landscape irrigation in a desert Urban Area. *Journal of Arid Environments* 67 (3): 473–486.
- Gökrem, Y.İ. 2006.** Tokat ilinde yapay sulakalanlar ile bu sistemde kullanılan *Typha latifolia L.* bitkisinin evsel atıksu arıtmada kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, GOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Tokat.
- Güllüoğlu, M.S. 2006.** Harran Ovası yeraltı suyu kalitesinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Güneş, T. S. 2002.** Arıtılmış atıksuyun ve arıtma çamurlarının geri kazanımı, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, s.180-181.

- Güngör, A. 2015.** Çarşamba ovası drenaj sularının sulamada kullanılma olanaklarının araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Samsun.
- Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedi Koupai, J., Malekian, R. 2007.** The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management*, 90(1-2): 87-94.
- Irénikatché Akponikpè, P.B., Wima, K., Yacouba, H., Mermoud, A. 2011.** Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: Benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 98 (5): 834–840.
- Işık, E., Usta, S. 2004.** Ankara-Polatlı sulu tarım arazilerinde değişebilir sodyum yüzdesi, sodyum adsorbsiyon oranı ve gapon katsayısı ilişkileri. *Tarım bilimleri dergisi*, 10(2): 174-181.
- Işık, Y. 2014.** Sivas ili Hafik ilçesinde yetiştirilen sebzelerin sulanmasında kullanılan sulama sularının kalitelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, NKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Kafadar, F.N. 2010.** Gaziantep ili ve çevresinde atık sui le sulanan bazı tarımsal alanlardan alınan bitki örneklerinde kadmiyum ve kurşun birikimi ile bu birikime bağlı olarak oluşan fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Gaziantep.
- Kahraman, N. 2015.** Harran Ovası serbest akiferinde nitrat kirlenmesinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Kalavrouziotisa, I.K., Apostolopoulos, C.A. 2007.** An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas. *Building and Environment*, 42(4): 1862–1868.
- Kara, Ö. 2010.** Konya-Sarayönü-Gözlü köyü sulama kooperatifi sulama sahasındaki toprak ve su kaynaklarının tuzluluk yönünden değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Karadavut, S. 2009.** Aksaray bölgesi yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının potansiyeli kalitesi ve etkin sulama açısından değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, NKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Karataş, B.S. 1999.** İzmir atıksularının menemen ovası sulamasında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi üzerine bir inceleme. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir.
- Karataş, B.S., Akkuzu, E., Aşık, Ş. 2005.** İzmir kentsel arıtılmış atık sularının sulamada kullanım olanaklarının incelenmesi. *EÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3):111-122.
- Kırtış, F. 1997.** Harran ovasındaki bazı suların sulama suyu kalitesi açısından sınıflandırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Koç, D.L. 2011.** Aşağı seyhan ovası tuzlu-sodyumlu topraklarının farklı yöntemlerle iyileştirilmesi. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.
- Kukul, Y.S., Anac, S., Salgot, M., Molina, J. 2005.** Developing standards and guidelines for reuse of treated wastewater with risk assessment in agriculture of Turkey, Med-Reunet II workshop on Mediterranean experiences on water reuse, 12-13 May, Barcelona, Spain.

- Kukul, Y.S., Ünal Çalışkan, A.D., Anaç, S. 2007.** Artırılmış atıksuların tarımda kullanılması ve insan sağlığı yönünden riskler. *EÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44 (3):101-116.
- Kukul, Y.S., Anaç, S., Yeşilirmak, E. 2008.** Wastewater reclamation and reuse status in Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 20 (5): 3875-3884.
- Kurtkulak, H. 2014.** Kentsel atıksuların geri kazanımı ve yeşil alanların sulanmasında yeniden kullanımı: Konya kenti örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P., Ferrini, F. 2004.** Municipal-treated wastewater reuse for plant Nurseries irrigation. *Water Research* 38(12): 2939- 2947.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., Jialo, W. 2016.** Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences* 39(1):86-96.
- Maral, N. 2010.** Tarımsal üretim için toprak ve su analiz teknikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- McNeill, L.S, Almasri, M.N., Mizyed, N. 2009.** A sustainable approach for reusing treated wastewater in agricultural irrigation in the West Bank – Palestine. *Desalination*, 248 (1-3): 315–321.
- Meneses, M., Pasqualino, J. C., Castells, F. 2010.** Environmental assesment of urban wastewater reuse treatment alternatives and applications. *Chemosphere*, 81(2): 266-272.
- Metcalf and Eddy, 2004.** Wastewater engineering treatment and reuse, McGraw Hill, New York, 1820p.
- Munoz, J.I., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, A., Bes-Pia, A., Fajardo-Montanana, V., Martinez-Francisco, F.J., Bernacer-Bonora, I. 2008.** Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse. *Desalination*, 222(1-3): 222-229.
- Okumuş, Ş. 2011.** Konya-Ereğli İvriz Sağ Sahil Sulama Birliği'ne ait yer altı su kaynaklarının sulama suyu kalitesi yönünden değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.
- Özbay, İ., Kavaklı, M. 2008.** Türkiye’de ve diğer ülkelerde artırılmış atık suların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi. Çevre Sorunları Sempozyumu, KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli. [http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/iozbay/bildiri/iozbay18.08.2010\\_14.01.00bildiri.pdf](http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/iozbay/bildiri/iozbay18.08.2010_14.01.00bildiri.pdf) -(Erişim Tarihi: 27.12.2015).
- Özdoğru, F. 1999.** Artırılmış atıksuyun sulamada kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Özer, N. 2004.** Dünya ve Türkiye’de tuzluluk durumu ve eğilimler. Sulanan alanlarda tuzluluk yönetimi sempozyumu, Ankara.
- Öztürk, G. 2008.** Fermantasyon endüstrisi atıksularının yeniden kullanım seçeneklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Özulukale, S. 2010.** Fırat Üniversitesi (Elazığ) kampüs alanındaki yeraltı suyu kimyası ve kalitesi. *Yüksek Lisans Tezi*, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.

- Papaiacovou, I. 2001.** Case Study-Wastewater reuse in Limassol as an alternative water source. *Desalination* 138 (1-3): 55-59.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J. 2010.** Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, 97(9): 1233–1241.
- Pescod, M.B. 1992.** Wastewater treatment and use in agriculture. Irrigation and Drainage Paper 47, FAO, Rome, 125 pp.
- Piadeh, F., Alavi Moghaddam, M.R., Mardan, S. 2014.** Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 92: 172–178.
- Savcı, M.E. 2016.** Sulama suyu kalitesi ve tuzlu sularla sulama. İTÜ inşaat fakültesi hidrolik anabilim dalı. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12951.pdf>-(Erişim tarihi:03/04/2016).
- Sönmez, İ. 2002.** Su ve toprak tuzluluğunun Demre yöresi domates seralarında yetiştirme dönemi boyunca değişimi. *Yüksek Lisans Tezi*, AKD Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Antalya.
- Şen, M. 2008.** Şamran Suyu'nun (Van) fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine araştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Van.
- Şen, N. 2010.** Evsel nitelikli atıksuların foto-fenton prosesi kullanılarak arıtılması. *Yüksek Lisans Tezi*, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Tarı, P. 2011.** Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması üzerine bir inceleme. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir.
- Toze, S. 2005.** Reuse of effluent water-benefits and risks. *Agricultural water management*, 80 (1-3):147-159.
- Tunç, T. 2005.** Erzurum ilinde bulunan sulama göletlerinin sularının fiziksel ve kimyasal nitelikleri ve sızma kayıpları yönünde incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Tunç, T. 2013.** Farklı işlemlerle arıtılmış atıksuların sulamada kullanımının toprak ve bitki özellikleri ile su kullanımına etkisi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Turan, M.A. 2001.** İznik yöresinde değişik su kaynakları ile sulanan toprakların verimlilik durumlarının incelenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Bursa.
- Üstün, G.E., Solmaz, S.K.A. 2007.** Bir organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuların tarımsal amaçlı sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, *Ekoloji Dergisi*, 62: 55-72.
- Üstüner, H. 2012.** Gediz nehri bazı su kalite parametrelerinin zamansal ve mekansal değişimi. *Doktora Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir.
- Varol, F., Bellitürk, K., Sağlam, M.T. 2005.** Tekirdağ ili sulama sularının özellikleri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/15/168/1349.pdf>-(Erişim tarihi: 06/05/2016).

- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Galletti, A., Zambello, E., Zanni, G., Masotti, L. 2011.** A project of reuse of reclaimed wastewater in the Po Valley, Italy: Polishing sequence and cost benefit analysis. *Journal of Hydrology*, 432–433:127–136.
- Yang, H., Abbaspour, K.C. 2006.** Analysis of wastewater reuse potential in Beijing. *Desalination*, 212 (1-3): 238–250.
- Yavuz, F. 2011.** Balçova ve seferihisar yöresi tarımsal amaçlı kullanılan sulama sularının kimi kalite öğelerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, İzmir.
- Yenigün, İ. 2009.** Harran ovası derin akiferinin bazı su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Yetiş, A.D. 2013.** Ceylanpınar Ovası yeraltı suyu kalitesinin ve kirlenme potansiyelinin belirlenmesi. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Yetiş, R. 2015.** Şanlıurfa Balıklıgöl havzası karstik su kaynaklarının kalite parametrelerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Yıldız, R. 2001.** Şanlıurfa Karakoyun deresi atıksularıyla sulanan Paşabağı tarım alanlarının sorunları ve çözüm önerileri. *Yüksek Lisans Tezi*, HRÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Yıldız, G.E. 2009.** Konya Yolu-Çayyolu arasındaki (Ankara) akiferlerde yeraltı suyu kalitesinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Yıldıztekin, M. 2007.** Muğla Karabağlar yöresi kuyu sularının sulama suyu kalitesi yönünden araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, MĞÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Muğla.
- Yılmaz, D. 2005.** Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama suyu kriterleri açısından değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Yinanç, K. 2013.** Kahramanmaraş sağ sahil sulama alanında yeraltı suyu kalitesi ve sulamada kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Yurtseven, E., Bozkurt, D.O. 1997.** Sulama suyu kalitesi ve toprak nem düzeyinin marulda verim ve kaliteye etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2): 44 -51.
- Zengin, M. 1992.** Konya ovası sulama sularının su kalitesi açısından sınıflandırılması üzerine bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Konya.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Öznur Önen Acar  
Doğum Yeri ve Tarihi : Uşak / 22.06.1985  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Diyarbakır Anadolu Lisesi  
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Kimya Mühendisliği Bölümü  
2004-2009  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
2010-2018

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Prysmian Group / 2011-2013  
Organik Kimya / 2013-

İletişim (e-posta) : onenoznur@hotmail.com

Yayımları : -

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Öznur ÖNEN ACAR
Tez Adı	Evsel Nitelikli Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışmanı	DOÇ. DR. F. OLCAY TOPAÇ ŞAĞBAN
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih :12.03.2018

İmza :