



Paket Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Fatma Olcay Topaç^{1*}, Öznur Önen Acar²

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6364-4087)

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID:0000-0001-8226-4445)

(İlk Geliş Tarihi 5 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 30 Ağustos 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.748395)

ATIF/REFERENCE: Topaç, F. O. & Önen Acar, Ö. (2020). Paket Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 858-865.

Öz

Hızla artan nüfus ve azalan tatlı su kaynakları nedeniyle, atık suların uygun yöntemlerle arıtılarak çeşitli alanlarda yeniden kullanılması günümüzün öncelikli çevresel konularından biri olarak kabul edilmektedir. Su kısıtının yarattığı küresel ölçekteki endişeler, arıtılmış atıksuların faydalı bir şekilde yeniden kullanılmasına yönelik çeşitli çalışmalara ve yaklaşımlara ön ayak olmuştur. Bu kapsamda, arıtılmış atıksuların bilhassa sulama suyu olarak yeniden kullanımının sağlanması, yaygın şekilde bir çözüm alternatifi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, kablo üreten bir endüstriyel tesisin evsel nitelikli atıksularının paket arıtma ile arıtıldıktan sonraki özelliklerinin belirlenmesi ve paket atıksu arıtma tesisinden çıkan suların, sulama suyu olarak kullanımının yasal mevzuat çerçevesinde değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde anahtar parametrelerden olan pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), nisbi sodyum iyonu yüzdesi (%Na), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), sodyum, klorür, amonyum ve nitrat iyonları standart yöntemlerle belirlenmiştir. Arıtılmış atıksu özelliğinde meydana gelebilecek zamana bağlı değişimleri izlemek üzere yılın farklı zamanlarında alınan atıksu örnekleri analizlenerek sonuçlar yorumlanmış ve arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilirliği Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT) ile literatürdeki çalışmalar baz alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, incelenen evsel nitelikli arıtılmış ve dezenfekte edilmiş atıksuyun sulama suyu olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Kimyasal kalite kriterleri çerçevesinde bir değerlendirme yapıldığında, arıtılmış atıksu numunesinin, incelenen parametreler itibarıyla 2. sınıf sulama suyu olarak kategorize edilebileceği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle, bu suyun kullanımıyla oluşacak zarar derecesi az-orta olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerlerini baz alan ABD tuzluluk laboratuvarı sistemine göre yapılan sınıflandırmaya göre su numunesinin C3S1 sınıfına girdiği ve fazla tuzlu olmasından dolayı dikkatle kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan ölçümler, evsel nitelikli atıksuların paket arıtma ile arıtıldığı tesiste, çıkış suyu kalitesinin zamana bağlı olarak küçük salınımlar gösterdiğini ancak sulama suyu sınıfını etkileyecek büyük bir değişimin meydana gelmediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: arıtılmış atıksu, paket arıtma tesisi, su kirliliği, sulama, sulama suyu kriterleri, Türk mevzuatı, yeniden kullanım

Evaluation of the Usability of Package Wastewater Treatment Plant Effluent as Irrigation Water

Abstract

Due to the rapidly increasing population and a reduction in freshwater supplies, reuse of appropriately treated wastewater in various areas are recently considered to be one of the prior environmental issues. Global concerns caused by the water constraint lead to a variety of studies and approaches to the beneficial reuse of treated wastewater. In this context, ensuring the reuse of treated wastewater especially as irrigation water is widely considered as a solution alternative. In this study, it is aimed to determine the characteristics of domestic wastewater of a cable producing facility after package treatment and to evaluate the reuse of the package wastewater treatment plant effluent as irrigation water within the framework of legal legislation. Accordingly, pH, electrical conductivity, total dissolved matter, sodium adsorption ratio (SAR), percentage of sodium ion (% Na), residual sodium carbonate (RSC), sodium, chloride,

* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6364-4087, olcaytopac@uludag.edu.tr

ammonium and nitrate ions which are among the key parameters for the evaluation of irrigation water quality were determined by standart methods. In order to monitor the time-dependent variation in the characteristics of treated wastewater, samples taken at different times of the year were analyzed, results were interpreted and the use of this treated wastewater as an irrigation water was evaluated according to Communiqué on Technical Procedures for Wastewater Treatment Plants and the related literature. The results obtained within the scope of the study indicate that the treated and disinfected domestic wastewater has the potential to be used as irrigation water. When an evaluation was made within the framework of chemical quality criteria, it was seen that the treated wastewater sample could be categorized as second class irrigation water according to the parameters examined. In other words, the degree of damage caused by the use of this water is classified as low to medium. In addition, according to the classification made according to the US salinity laboratory system based on the electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR) values, the water sample is classified as C3S1 and should be used with caution because it is considered to be too salty. The measurements showed that the quality of the effluent water in the treatment plant where the domestic wastewater is treated by package treatment, shows only small variations depending on time but no major change that will affect the irrigation water class has occurred.

Keywords: Treated wastewater, Package treatment plant, Water pollution, Irrigation, Irrigation water criteria, Turkish legislation, Reuse.

1. Giriş

Nüfusun ve buna bağlı olarak suya duyulan talebin artması, bilinçsiz su tüketimi ve iklim değişikliği problemleri ile beraber su kaynaklarına duyulan ihtiyaç da her geçen gün hızla artmaktadır. Bu sebepten dolayı yeryüzündeki su, sürekli bir çevrim içinde olmasına rağmen çevrimini tamamlamadan tüketilmektedir. Bu nedenle havzadaki su hareketinin doğru bir şekilde izlenmesi, suyun etkin bir biçimde kullanılması, sudan tasarruf edilmesi ve su kaynaklarının kalitesinin korunması şüphesiz günümüzdeki en öncelikli çevresel konular arasındadır (Karadavut, 2009; Aküzüm vd., 2010; Kırtorun ve Karaer, 2018; Koç, 2018).

Su kısıtının yarattığı küresel ölçekteki endişeler arıtılmış atıksuların faydalı bir şekilde yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalara ve yaklaşımlara ön ayak olmuştur. Günümüzde dünyadaki pek çok ülke, kötü senaryolarla karşı karşıya kalmamak adına, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve su verimliliği konularında çalışmalar yapmaktadır. Kullanılmış suların arıtılarak yeniden kullanılması dünyaca kabul gören bir çözüm alternatifini olarak değerlendirilmektedir. Azalan tatlı su kaynakları nedeniyle atık suların uygun yöntemlerle arıtılması ve çeşitli alanlarda yeniden kullanımının değerlendirilmesi günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Tatlı su kıtlığını ortadan kaldırmak için arıtılmış atıksuların içme suyu dışındaki kullanımları teşvik edilmektedir. Yapılan çalışmalar, arıtılmış evsel ve endüstriyel atıksuyun, kuraklık açısından baskı altında olan bölgeler başta olmak üzere dünyanın pek çok yerinde tarım, su ürünleri yetiştirme, endüstriyel, evsel ve rekreasyonel kullanım gibi pek çok alanda kullanılabildiğini göstermektedir (USEPA, 2004; Meneses vd., 2010; Demir vd., 2017; Kurtkulak, 2014; Katip, 2018). Avrupa'daki atıksuların yeniden kullanımına yönelik uygulama örnekleri Tablo 1'de özetlenmiştir (Water Reuse Europe, 2018).

Dünya geneline bakıldığında arıtılmış atıksuların bilhassa sulama amaçlı kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Arıtılmış atıksuların tarımsal faaliyetlerde sulama amacıyla tekrar kullanılması, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarına ulaşımın kısıtlı olması durumunda faydalanılabilecek bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Günümüzde, tüm dünyada tarımsal amaçlarla kullanılan su miktarının yaklaşık olarak 3100 km³ olduğu ve bu miktarın toplam kullanılan su miktarının %70'ine tekabül ettiği bilinmektedir. Şayet suyun tasarruflu kullanılmasına yönelik etkili önlemler alınmaz ise, tarım sektörü için kullanılacak su miktarının 2030 yılı itibarıyla 4.500 km³'yi bulacağı öngörülmektedir ki bu miktar küresel su kullanımının %65'ini oluşturmaktadır (Muluk vd., 2013). Bu büyük miktardaki tarımsal su ihtiyacı gözönüne alındığında, atıksu arıtma tesislerinden çıkan atıksuların, çeşitli arıtım alternatifleriyle arıtıldıktan sonra sulama suyu olarak yeniden kullanılması, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğine şüphesiz büyük katkı sağlayacaktır. Yapılan çalışmalar sulamalı tarım yapılan 50 ülkede yer alan yaklaşık 20 milyon hektar arazinin, arıtılmamış/arıtılmış/seyreltilmiş atıksularla sulandığını göstermektedir (Kretschmer vd., 2006; Polat, 2013; Saraoğlu, 2014). Atıksuların arıtılarak tarımda kullanılması ile, temiz su kaynakları korunmuş olmakta, arıtılmış atıksuyun bertarafı sağlanmakta, atıksu içeriğinde bulunan bitki besin elementleri sayesinde tarımsal gübre ihtiyacı azalmakta ve topraktaki mikrobiyal aktivite artmaktadır (Goncalves vd., 2017; Abu-Dieyeh vd., 2017; Kukul vd.,2007).

Ülkemizde geri kazanılmış atıksuların sulama amacıyla kullanılması 20 Mart 2010 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan 27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT)'ne göre değerlendirilmektedir (Anonim, 2010a). Bununla beraber, Türkiye'de, atıksuların geri kazanılarak sulama amacıyla yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalar halen başlangıç aşamalarında olup henüz tam olarak yerleşmiş ve işleyen bir sistem bulunmamaktadır. Ancak, son yıllarda atıksuların sulama amaçlı kullanımına yönelik çalışma, uygulama ve proje sayılarının arttığı da dikkati çekmektedir.

Tablo 1: Avrupa'daki atıksuların yeniden kullanımına yönelik uygulama örnekleri (Water Reuse Europe, 2018)

Lokasyon	Nihai Kullanım	Yeniden kullanımı teşvik eden unsurlar	Geri kazanılan su hacmi
Torrelee, Belgium	Akifer yüklemesi, dolaylı içme suyu olarak kullanım	Kentleşme / turizm; kaynakların verimli bir şekilde yeniden kullanılması; çevresel koruma	Her yıl sahadan yaklaşık 3,5 milyon m ³ içme suyu geri kazanılmaktadır.
Chessy, France	Rekreasyonel, kentsel yeniden kullanım (sokak temizleme havuzu)	Kuraklık ve su kıtlığı; kaynakların verimli bir şekilde yeniden kullanılması; çevresel koruma	Yılda yaklaşık 780,000 m ³ geri kazanılmış su kullanılmaktadır.
Rodaersbro, Danimarka	Süt ürünleri üretim sürecinde endüstriyel kullanım	Belediye tarafından belirlenen atık su deşarj maliyetleri; deşarj muvafakatnamesi	Günde yaklaşık 1,000m ³ geri kazanılmış su kullanılmaktadır.
Morbihan, France	Golf sahası sulaması	Çevresel koruma	Yılda 65.000 m ³ geri kazanılmış su 19 hektarlık çimin sulanması için kullanılmaktadır.
İspanya	Tarımsal sulama	Kuraklık ve su kıtlığı; turizm / kentleşme; çevresel koruma	100 tesiste yılda üretilen 100 milyon m ³ geri kazanılmış su kullanılmaktadır (toplam arıtılmış atık suyun% 90'ı)

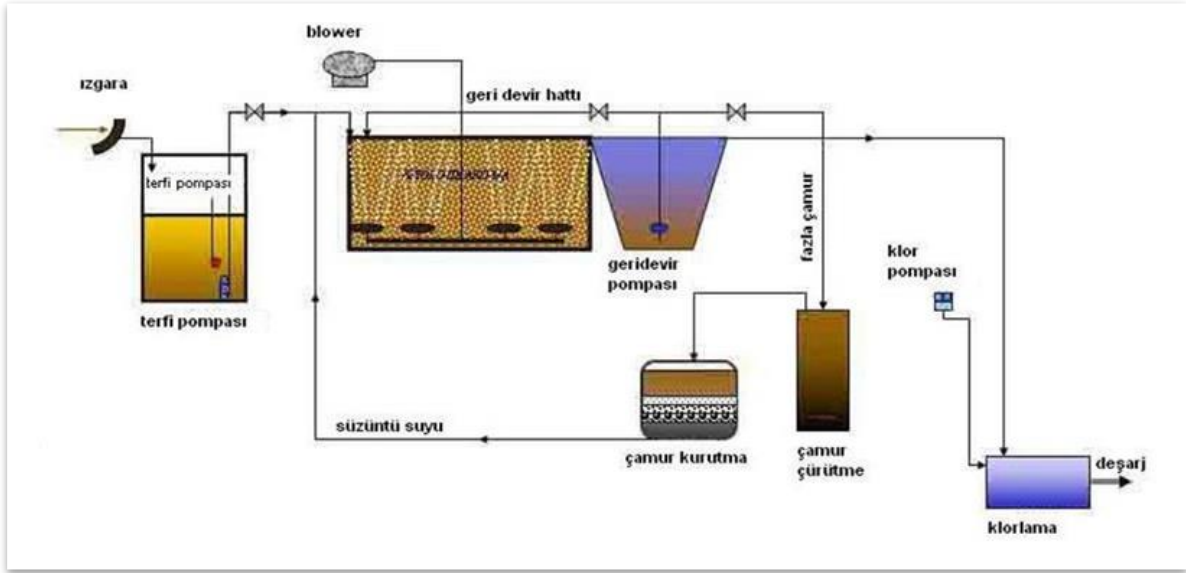
Bu çalışmada kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksularının paket atıksu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonraki özelliklerinin belirlenmesi ve arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilme potansiyelinin irdelenmesi hedeflenmiştir. Arıtılmış atıksu özelliğinde meydana gelebilecek değişimleri izlemek üzere yılın farklı zamanlarında alınan atıksu örnekleri analizlenerek sonuçlar yorumlanmış ve Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ile mevcut literatür bilgileri baz alınarak sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Arıtılmış Atıksu Örneği

Çalışmada araştırma materyali olarak kablo üreten bir tesisin evsel nitelikli atıksularının arıtıldığı paket atıksu arıtma tesisi çıkışından yılın belirli dönemlerinde (Ocak, Nisan, Ağustos) alınan atıksu örneği kullanılmıştır. Kimyasal analizler için 2 lt'lik plastik kaplara alınan numuneler etiketlenerek laboratuvara getirilmiş ve analiz öncesi +4°C'de muhafaza edilmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde kullanılacak atıksu numuneleri için 500 ml'lik sterilize edilmiş koyu kahverengi cam şişeler kullanılmıştır. Etiketlenecek laboratuvara getirilen numunelerdeki mikrobiyolojik analizler bekletilmeden yapılmıştır.

Şekil 1'de çalışma prensibi verilen paket atıksu arıtma tesisi, 400 eşdeğer kişi – 80 m³/gün kapasiteli iki adet paket atıksu arıtma ünitesinden oluşmakta ve her iki ünite de birbirinden bağımsız şekilde çalışmaktadır. Her ünite birer adet münferit atıksu transfer pompasıyla beslenmektedir. Kaba ızgaradan geçerek atıksu foseptiğine toplanan atıksular, dalgıç pompa vasıtasıyla ince ızgaradan geçerek ardışık kesikli reaktöre ulaşmakta ve burada aktif çamur ile temas etmektedir. Atıksu bünyesindeki organik kirliliklerin aerobik şartlarda biyolojik olarak arıtıldığı reaktörde gerekli oksijen ünitedeki blower ile sağlanmaktadır. Oluşan biyolojik yumaklar son çökeltim tankında çöktürüldükten sonra hipoklorit dozlaması ile arıtılmış atıksuyun dezenfeksiyonu sağlanmakta ve ardından atıksu alıcı ortama deşarj edilmektedir.



Şekil 1: Paket atıksu arıtma tesisi akım şeması

2.2. Laboratuvar Analizleri

Atıksu örneklerindeki biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), ve askıda katı madde (AKM) tayinleri Standart Metotlarda (APHA,2005) bildirildiği şekilde yapılmıştır. Örneklerdeki fekal koliform sayıları dökme plaka yöntemine göre belirlenmiş, ekim yapılmış petriler 44,5°C'de 24 ± 2 saat inkübe edilmiştir (APHA,2005). Örneklerin bulanıklığı Jenway marka turbidimetre ile nefelometrik olarak ölçülmüştür. Alınan arıtılmış atıksu örneklerinde pH değerleri TS EN ISO 10523 standardına göre belirlenmiştir (Anonim, 2013). Elektriksel iletkenlik ise TS 9748 EN 27888 standardına göre çoklu parametre ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Anonim, 1996). Örneklerdeki amonyum miktarı hazır kitler kullanılmak suretiyle spektrofotometrik olarak belirlenirken, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klorür ve nitrat, konsantrasyonları TS EN ISO 14911 ve TS EN ISO 10304-1 standartlarına uygun şekilde çalıştırılan iyon kromatografi cihazında ölçülmüştür (Anonim, 2000; Anonim, 2010b). Karbonat ve bikarbonat konsantrasyonları TS 3790 EN ISO 9963-1 standartına göre, titrimetrik olarak belirlenmiştir (Anonim, 1998).

Örneklerdeki sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), nisbi sodyum iyonu yüzdesi (% Na) ve sodyum karbonat kalıntısı değeri (RSC) iyonların me/lt değerleri kullanılarak aşağıda verilen eşitliklere göre hesaplanmıştır (Anonim, 2010a, Çalışkan, 2010).

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

$$\%Na = [(Na^+) / (Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2})] \times 100 \quad (2)$$

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-1}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (3)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak yeniden kullanım kriterleri AATTUT (2010a) ekinde yer alan Tablo E 7.1'de verilmiştir. Bu tebliğin 22. Maddesinin 1.bendine göre evsel nitelikli atıksular özelliklerine bağlı olarak Sınıf A ve Sınıf B şeklinde kategorize edilmiş bitki türlerinin veya sulama alanlarının sulanmasında kullanılabilir. Çalışmada kullanılan arıtılmış atıksu örneğinin pH değeri 8,10, BOİ değeri 18,50 mg/l, KOİ değeri 28,40 mg/l, AKM değeri 8,86 mg/l ve bulanıklık değeri 1,4 NTU'dur. Ayrıca arıtma sonrası klorla dezenfekte edilen atıksuda fekal koliform bulunamamıştır. Bu değerler ve yönetmelik sınır değerleri dikkate alındığında çalışmada kullanılan arıtılmış atıksuyun, sulama amaçlı kullanım için minimum gereksinimleri sağladığı görülmektedir. Benzer şekilde geri kazanılmış atıksuların yeşil alan sulamasında kullanılabilirliğinin değerlendirildiği bir çalışmada, arıtılmış atıksudaki pH 7,7, AKM 9 mg/l, BOİ 10 mg/l, bulanıklık 3,4 NTU ve fekal koliform 0 adet/100 ml olarak belirlenmiş ve atıksuyun B sınıfı sulama suyu kriterlerini sürekli olarak sağladığı vurgulanmıştır (Koyuncu ve Arıman, 2020).

Arıtılmış atıksuyun kimyasal kalite kriterlerini sağlayıp sağlamadığının daha detaylı olarak değerlendirilebilmesi için farklı zamanlarda alınan numunelerde pH, EC, toplam çözünmüş madde, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum iyonunun nisbi oranı (%Na), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), sodyum, klorür, amonyum ve nitrat parametreleri takip edilmiş, ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Arıtma tesisi çıkışından yılın farklı zamanlarında (Ocak, Nisan ve Ağustos) alınan evsel nitelikli arıtılmış atıksuyun çalışma kapsamında belirlenen özellikleri

Parametre*	Ocak	Nisan	Ağustos
pH	7,92±0,03	8,02±0,06	8,09±0,06
EC, µS/cm	1311±8	1342±7	1324±7
Toplam çözünmüş madde, mg/l	839,0±5	858,9±4	847,4±4
Sodyum adsorpsiyon oranı, SAR	3,02±0,02	2,98±0,01	1,81±0,02
Sodyum iyonunun nisbi oranı, %	42,25±0,01	37,80±0,05	24,69±0,06
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC), me/l	0,21±0,02	0,73±0,02	-4,68±0,07
Sodyum, mg/l	140,3±4	151,2±4	111,6±2
Klorür, mg/l	125,4±4	94,77±5	136,2±5
Amonyum, mg/l	0,11±0,05	0,55±0,05	0,04±0,01
Nitrat, mg/l	27,90±2	24,61±3	29,70±3

*Sonuçlar 3 ölçüm ortalamasını yansıtmaktadır

Özellikle bitki besin elementlerinin alınımı etkilemesinden dolayı (Will ve Faust, 1999) toprak ortamı için önemli bir parametre olarak kabul edilen pH değerinin sulama sularında genel olarak 6,5-8,4 olması istenmektedir (Ayers ve Westcot, 1994). AATTUT (2010)'ne göre sulamada yeniden kullanılacak arıtılmış atıksuların pH'sı 6-9 aralığında olmalıdır. Çalışmada analiz edilen suların pH değeri 7,92 ile 8,09 arasında belirlenmiş olup (Tablo 2), sulama suyunun pH parametresi açısından bir sorun yaratmayacağı görülmektedir. Bingül ve Altıkat (2017) tarafından yapılan bir çalışmada da arıtılmış evsel nitelikli atıksuların pH değerlerinin 7-8 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Tuzluluğun bir göstergesi olan elektriksel iletkenlik, sulama suyunun kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Tuzluluğun yüksek oluşu bitki büyümesi, gelişimi ve verimliliği için sınırlayıcı bir faktördür. Topraktaki tuz konsantrasyonunun artışı ile toprağın geçirgenliği ve hidrolik iletkenliği azalma göstermektedir (Becerra-Castro vd. 2015). Toprak çözeltisinde çözülmüş halde bulunan tuz konsantrasyonunun artış göstermesi ile toprağın ozmotik basıncı artmakta ve bu durum bitkinin topraktaki suyu almasını engelleyerek fizyolojik kuraklık problemlerine yol açmaktadır (Ekmekçi vd., 2005). Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin EC değeri 1311 (µS/cm) ile 1342 (µS/cm) arasında değişim göstermekte olup (Tablo 2), belirgin bir dönemsel değişim olmadığı görülmüştür. AATTUT (2010a)'ne göre EC değeri 700 ila 3000 µS/cm arasında olan sular II. Sınıf su olarak sınıflandırılmakta olup, incelenen arıtılmış atıksuya ait değerlerin bu aralığa düştüğü görülmüştür. Arıtılmış atıksuyla yapılan sulamanın toprak özelliklerinde meydana getirdiği değişikliklerin incelendiği bir çalışmada, EC değeri 1550 µS/cm olan atıksuyla yapılan 3 aylık bir sulamanın toprağın iletkenlik değerini arttırmadığı tespit edilmiştir (Oliveira vd. 2016). Diğer yandan Belaid vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada arıtılmış atıksuyla yapılan uzun dönem sulamanın toprak tuzluluşması üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ortalama iletkenlik değeri 5700 µS/cm olan arıtılmış atıksu sulama amacıyla kullanılmış ve dört yıllık sulamanın ardından flüvisol toprakların EC değerinin 8000 µS/cm seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Topraktaki tuzluluğun diğer bir ifade şekli toplam çözünmüş katı madde (TÇM) konsantrasyonudur ve bu ifade elektriksel iletkenlik parametresiyle de ilişkilendirilmektedir. AATTUT (2010a)'nde toplam çözünmüş madde ve EC değeri arasında, $EC < 5 \text{ dS/m}$ ise $TÇM \approx EC \times 640$ ve $EC > 5 \text{ dS/m}$ ise $TÇM \approx EC \times 800$ şeklinde bir ilişki olduğu ifade edilmiştir. Bu hesaba göre çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin TÇM konsantrasyonlarının 839-859 mg/l arasında değişmekte olduğu ve incelenen suyun TÇM içeriği bakımından 2. sınıf sulama suyu olarak kategorize edilebileceği görülmüştür.

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), suyun sodyum açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Sulama suyunun SAR değerinin artması durumunda toprağın değişebilir sodyum yüzdesi de artmakta ve toprak sodikleşme eğilimi göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak yapısı bozulmakta ve toprağın parçalanması ile beraber topraktaki porozite azalmakta, büyük boşluklar tıkanmakta ve dolayısıyla su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir (Urbano vd., 2017). Ayrıca sodyum bitkiler üzerinde toksik etki yapmaktadır (Maathius, 2014). Çalışma kapsamında incelenen arıtılmış atıksu örneğinin SAR değeri 1,81 ila 3,02 arasında hesaplanmıştır. Bingöl atıksu arıtma tesisi çıkış sularının sulama suyu olarak kullanımının değerlendirildiği benzer bir çalışmada, arıtılmış atıksuyun SAR değerinin 0,95 ila 1,32 arasında olduğu tespit edilmiştir (Doğan-Demir ve Şahin, 2019). Sulama sularındaki olağan SAR aralığı 0-15 olarak verilmektedir (Ayers ve Westcot, 1994).

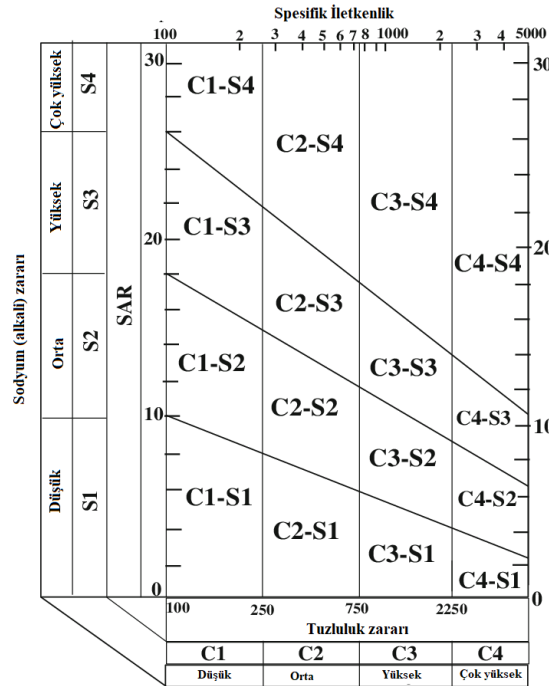
Sodyum iyonunun diğer iyonlara göre nisbi oranı ile kalıcı sodyum karbonat (RSC) parametreleri de sulama suyunun sodyum açısından zararını değerlendirmede sıklıkla kullanılan diğer parametrelerdir. Nisbi sodyum yüzdesinin artış göstermesi ile toprağın fiziksel özellikleri bozulmakta ve toprakta bitki gelişimi önemli ölçüde zarar görmektedir (Işık ve Usta 2004). Sulama suyundaki nisbi sodyum yüzdesinin, toprağa ve bitkiye zarar vermemesi için 50-60 değerinden daha büyük olmaması gerekmektedir (Ayyıldız, 1983).

Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan numunelerin nisbi sodyum yüzde değerlerinin 24,69 ile 42,25 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan su numunesinde belirlenen sodyum karbonat kalıntısı (RSC) değerlerinin -4,68 ile 0,73 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. RSC değerinin pozitif çıkması, ortamda $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ ile birleşmiş halde bulunanın dışında hala bir miktar karbonat ve/veya bikarbonat iyonu bulunduğunu göstermektedir. Bir başka ifade ile, ortamda sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel karbonat ve bikarbonat iyonu bulunmaktadır. Eşitliğin negatif çıkması ise, ortamda sodyum zararının oluşabilmesi olasılığının olmadığını ifade etmektedir (Ayers ve Westcot, 1994)

SAR ve EC'nin beraber değerlendirilmesi ile topraktaki sızma problemi konusunda bilgi sahibi olunabilmektedir. AATTUT (2010a)'ne göre incelenen arıtılmış atıksu numunesi SAR ve EC değerleriyle karakterize edilen geçirgenlik bakımından 1. Sınıf sulama suyu sınıfına girmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk laboratuvarı tarafından geliştirilen ve ülkemizde de yaygın şekilde kullanılan sistemde sulama suları EC ve SAR değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir (Richards, 1954). Şekil 2'de görüldüğü gibi her iki kriter de 4 sınıf altında toplanmıştır ve tuzluluk zararı C1 ile C4 arasında, sodyumluluk zararı ise S1 ile S4 arasında belirtilmektedir. Bu grafik ile numunelerde belirlenen EC ve SAR değerleri dikkate alındığında çalışma kapsamında incelenen arıtılmış atıksu numunesinin tüm örnek alma zamanlarında C_3S_1 olarak sınıflandırılabilirliği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, SAR değeri baz alındığında bu suların toprağın fiziksel özellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkide bulunmayacağı beklenmektedir. Diğer yandan C_3S_1 olarak ifade edilen sular fazla tuzlu sular olarak sınıflandırıldıklarından geçirgenliği az ve yetersiz drenaj koşullarına sahip topraklarda, toprak yönetimine ilişkin bazı özel önlemler uygulanmadan sulama suyu olarak kullanılamamaktadırlar.

Çalışma kapsamında incelenen arıtılmış atıksuyun özgün iyon toksisitesini değerlendirmek üzere sodyum ve klorür konsantrasyonları incelenmiştir. Arıtılmış atıksudaki sodyum içeriğinin 111,56-151,24 mg/l arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu değerler AATTUT (2010a) kriterleriyle kıyaslandığında, incelenen suyun 2. sınıf su olarak sınıflandırılabilirliği görülmektedir. Klorür iyonu bitkilerde karbonhidrat iletimini sağlayan iyondur. Ancak yüksek dozlarda bitkilerde toksik etki yaratmaktadır. Bitkilerde klorür iyonunun zararı ilk önce yaprak uçlarında görülmekte, zamanla yaprak ucu kurumakta ve zehirlenme arttıkça da ölü doku miktarı artmakta ve yapraklar dökülmektedir (Canlı, 2014). Yapılan çalışmada farklı dönemlerde alınan arıtılmış atıksu numunelerinin klorür iyonu değeri ise 94,77 mg/l ile 136,21 mg/l arasında değişim göstermektedir. AATTUT (2010a)'ne göre yüzey sulaması yapılması durumunda, suyun klorür içeriği 140 mg/l'nin altında olan sular 1.sınıf su olarak kategorize edilmektedir. Diğer yandan damlatmalı sulama sistemleri için 1. sınıf su için limit değer 100 mg/l olarak verilmiştir. Sulama suyunun klorür içeriğine ilişkin bu sınır değerler dikkate alındığında, incelenen suyun tercih edilecek sulama sistemine göre 1. veya 2. sınıf su olarak sınıflandırılması mümkün gözükmemektedir.



Şekil 2: Amerika Birleşik Devletleri tuzluluk laboratuvarı tarafından geliştirilen sulama suyu sınıflandırma sistemi.

AATTUT (2010a), arıtılmış atıksulardaki ağır metal ve toksik elementler için de izin verilecek maksimum konsantrasyonları tanımlamıştır. Bu çalışmada incelenen atıksu evsel nitelikli bir atıksu olduğundan, arıtılmış atıksudaki ağır metal konsantrasyonlarının limit değerleri aşmayacağı düşünülmüş ve bu parametreler değerlendirme dışında tutulmuştur. Ancak arıtma tesisine evsel atıksuyun yanısıra endüstriyel bir atıksu karışıyor ise ağır metal ve toksik element konsantrasyonlarının da titizlikle takip edilmesi gerekecektir.

AATTUT (2010a)'nde, geri kazanılmış atıksuların, azot ve fosfor gibi bitki için faydalı olan nütrientleri de belirli düzeyde içerdiği ifade edilmiş ancak bu değerler için herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Sulama suyunda bulunan azot, toprağa uygulanan gübrede bulunan azotla aynı etkiye sahip olup, sulama suyunda aşırı düzeyde bulunması aynı aşırı gübrelemede olduğu gibi problemlere yol açabilmektedir. Bu çalışmada incelenen arıtılmış atıksudaki amonyum değeri 0,04 mg/l ile 0,55 mg/l arasında bulunmuştur. Nitrat değerlerinin ise nispeten yüksek olduğu ve 24,61 mg/l ile 29,70 mg/l arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Pek çok bitki 30 mg/l'nin altındaki azot konsantrasyonlarından olumsuz olarak etkilenmediğinden (Ayers ve Westcot, 1994), incelenen arıtılmış atıksuyun azot içeriği açısından büyük bir problem yaratmayacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, incelenen evsel nitelikli arıtılmış ve dezenfekte edilmiş atıksuyun sulama suyu olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. AATTUT (2010a) kimyasal kalite kriterleri çerçevesinde bir değerlendirilme yapıldığında, arıtılmış atıksu numunesinin, incelenen parametreler itibarıyla 2. Sınıf sulama suyu olarak kategorize edilebileceği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle bu suyun kullanımıyla oluşacak zarar derecesi az-orta olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca EC ve SAR değerlerini baz alan ABD tuzluluk laboratuvarı sistemine göre yapılan sınıflandırmaya göre incelenen su numunesinin C3S1 sınıfına girdiği ve fazla tuzlu olmasından dolayı dikkatle kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan ölçümler, evsel nitelikli atıksuların paket arıtma ile arıtıldığı tesiste, çıkış suyu kalitesinin zamana bağlı olarak küçük salınımlar yaptığını ancak sulama suyu sınıfını etkileyecek büyük bir değişimin meydana gelmediğini göstermektedir.

İncelenen paket atıksu arıtma tesisi çıkış suyu, derin deniz deşarjıyla bertaraf edilmekte olup, yürütülen bu çalışma arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Söz konusu arıtılmış atıksuyun sulama suyu olarak kullanılabilirliği irdelenirken, sadece mevzuatta yer alan sınır değerlere uygunluk açısından bir değerlendirme yapılmamalı, aynı zamanda sulamanın yapılacağı toprak özellikleri, toprakta yetişen ürün deseni ve uygulanacak sulama yöntemleri gibi hususlar da dikkate alınmalıdır. Nihai karar öncesinde, arıtılmış atıksuyun toprak ve bitki üzerindeki etkilerini önceden değerlendirmeye olanak veren laboratuvar çalışmaları ve sera denemeleri yürütülmelidir. Sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi sebeplerle su kıtlığının ülkemizde de gündeme geleceği unutulmamalı, arıtılmış atıksuların alternatif bir sulama suyu kaynağı olarak kullanılmasının birgün kaçınılmaz olacağı gözardı edilmemeli ve bu doğrultuda kapsamlı çalışmalar yürütülmelidir.

Kaynakça

- Abu-Dieyeh, M. H., Diab, M., & Al-Ghouti, M. A. (2017). Ecological and agriculture impacts of bakery yeast wastewater use on weed communities and crops in an arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(17), 14957-14969. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9115-1>
- Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 67-74.
- Anonim, (1996). *Su Kalitesi-Elektriksel iletkenlik tayini*, TS 9748 EN 27888.
- Anonim, (1998). *Su Kalitesi-Alkalinik tayini, Bölüm 1: Toplam ve bileşik alkalanitenin tayini*, TS 3790 EN ISO 9963-1.
- Anonim, (2000). *Su Kalitesi-Su ve atık sularında çözünmüş Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ ve Ba²⁺'nin tayini- İyon kromatografisi metodu*, TS EN ISO 14911.
- 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, (2013). *Su Kalitesi - pH Tayini*, TS EN ISO 10523.
- Ayers R. S., & Westcot D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome Italy.
- Ayyıldız, M. (1983). *Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayını No: 879, Ankara.
- APHA, (2005). *Standart methods for the examination of water and wastewater* (21st edition.), American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.
- Becerre-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., & Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75, 117-135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001>
- Belaid, N., Neel, C. Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A., & Baudu, M. (2010). Effects of treated wastewater irrigation on soil salinity and sodicity in Sfax (Tunisia): A case study *Revue des Sciences de l'eau (Journal of Water Science)*, 23(2), 133-146. <https://doi.org/10.7202/039905ar>.
- Bingül, Z., & Altıkat, A. (2017). Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 69-75. <https://doi.org/10.21597/jist.2017.199>
- Canlı, Ş. (2014). Menemen ovasında tarımsal su gereksinimi ve sulama sularının bitki, toprak ve sulama sistemleri açısından olası etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Erzurum.
- Çalışkan, D. (2010). Ankara çayının tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., & Arzum, C. Ş. (2017). Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 02, 1-14.
- Doğan Demir, A. & Şahin, Ü. (2019). Changes in physical and hydraulic properties of a clay soil due to the irrigation of tomatoes with recycled wastewater. *Eurasian Journal of Forest Science*, 7(3): 252-268. <https://doi.org/10.31195/ejefjs.585595>

- Ekmekçi, E., Apan, M., & Kara, T. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3), 118-125.
- Goncalves, I. Z., Barbosa, E. A. A., Santos, L. N. S., Nazário, A. A., Feitosa, D. R. C., Tuta, N. F., & Matsura, E. E. (2017). Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. *Agricultural Water Management*, 185, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.01.014>
- Işık, E., & Usta, S. (2004). Ankara-Polatlı sulu tarım arazilerinde değişebilir sodyum yüzdesi, sodyum adsorbsiyon oranı ve Gapon katsayısı ilişkileri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(2), 174-181. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000889
- 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.
- Katip, A. (2018). Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanlarının değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 541-557. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.432827>
- Kırtıron, E., & Karaer, F. (2018). Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1/2, 151-159.
- Koç, C. (2018). Entegre havza yönetiminde su kaynaklarını modern yöntemler ile ölçme, izleme ve değerlendirme olanaklarının araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 222-227. <https://doi.org/10.31590/ejosat.358213>
- Koyuncu, S., & Arıman, S. (2020). Geri kazanılmış atıksuların yeşil alan sulamasında kullanımı. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 48-56. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.559080>
- Kretschmer, N., Ribbe, L., & Gaese, H. (2006). Wastewater reuse for agriculture. *Technology Resource Management and Development-Scientific Contributions for Sustainable Development*, 2, 37-64.
- Kukul, Y. S., Çalışkan, A. D. Ü., & Anaç, S. (2007). Arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve insan sağlığı yönünden riskler. *EÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(3), 101-116.
- 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.
- Maathuis, F. J. M. (2014). Sodium in plants: Perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 65(3), 849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>
- Meneses, M., Pasqualino, J. C., & Castells, F. (2010). Environmental assessment of urban wastewater reuse treatment alternatives and applications. *Chemosphere*, 81(2), 266-272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.053>
- Muluk, Ç. B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M. A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., & Zeydanlı, U. (2013). *Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: Çevresel Perspektif*. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
- Oliveira, P. C. P., Gloaguen, T. V., Gonçaves, R. A. B., Santos, D. L., & Couto, C. F. (2016). Soil chemistry after irrigation with treated wastewater in semiarid climate. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0140664. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140664>
- Polat, A. (2013). Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için arıtılan atıksuların yeniden kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6 (1), 58-62.
- Richards L. A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural hand book 60. US Salinity Laboratory Staff, US Department of Agriculture, Washington DC.
- Saraoğlu, E. (2014). Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada yeniden kullanımı-Ülkemizden ve dünyadan başarılı örnekler ve Türkiye için uygulama önerileri. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Uzmanlık Tezi*, Ankara.
- U.S.EPA. (2004). *Guidelines for Water Reuse*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625/R-04/108, Washington DC.
- U.S.EPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-12/618, Washington DC.
- Urbano, V. R., Mendonc, T. G., & Bastos, R. G. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- Water Reuse Europe (2018). *Review 2018 Report*. Bedfordshire, United Kingdom. ISBN: 978-1-5272-2364-6.
- Will E., & Faust, E. J. (1999). *Irrigation water quality for greenhouse production*. The University of Tennessee, Agricultural Extension Service, PB1617.