

Arıtılmış kentsel atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanımı Use of treated municipal wastewater for agricultural irrigation

Mesut AK^{1*} , İlayda TOP² 

^{1,2}Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
mesuta@pau.edu.tr, ilayda468@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 27.09.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 01.12.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.89577

Derleme Makalesi/Rewiev Article

Öz

Dünya'da suya olan ihtiyacın gün geçtikçe artmasına bağlı olarak özellikle kentsel atıksular hacimleri ve içerdikleri besin maddeleri nedeniyle tarımsal sulamada cazip hale gelmiştir. Atıksular Dünya'nın birçok bölgesinde su katlığı ya da ekonomik nedenlerle tarımsal sulamada yaygın bir şekilde artılarak, kısmi arıtılarak, seyreltilerek ya da hiç arıtılmadan kullanılmaktadır. Fakat çoğu endüstriyel atıksuya kıyasla kentsel atıksular daha az kompleks ve kolay giderilebilir kirleticiler içerse de bu kirleticiler giderilmedikleri takdirde kısa ve uzun dönemde insan ve çevre için tehdit oluşturmaktadır. Bu kirleticilerden en önemlisi insan sağlığını direk tehdit eden patojenlerdir. Patojenler haricinde atıksu içerisinde birçok askıda ya da çözünmüş organik ve inorganik kirletici bulunmaktadır. Bu kirleticiler de uzun dönemde bir sulama sonucunda birikerek toprak yapısında fiziksel ve kimyasal bozulmalara, yerüstü ve yeraltı sularında direk ya da dolaylı yoldan insan hayatını tehdit edecek kirlenmelere neden olmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir bir tarımsal sulama için atıksuların bu amaçla kullanımları öncesi muhakkak uygun bir şekilde arıtılmaları ve kirletici konsantrasyonlarının sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Artımın derecesi ve kullanılacak teknolojiler o ülkenin ya da Dünya Sağlık Teşkilatı'nın belirlediği kirleticiler ve limit değerleri esas alınarak seçilebilir. Yapılan birçok çalışma uygun bir şekilde arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada çiğ yenen meyve ve sebzeler de dahil olmak üzere kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtılmış atıksu, Kentsel atıksu, Tekrar kullanım, Tarımsal sulama

Abstract

Owing to the growing need for water in the world, municipal wastewaters have become attractive in agricultural irrigation especially due to their volume and nutrient content. Wastewater is used in many parts of the world in a widespread manner, by treated, by partial treated, by dilution or by no treated, for water scarcity or economic reasons in agricultural irrigation. But compared to most industrial wastewater, municipal wastewaters are less complex and contain easily removable pollutants, but they are a threat to human and environment in the short and long term if these pollutants are not removed. The most important of these pollutants are pathogens directly threatening human health. Except pathogens, there are many suspended or dissolved organic and inorganic contaminants in wastewater. These pollutants accumulate in the result of long-term irrigation, resulting in physical and chemical deteriorations in soil structure and contamination of surface and groundwater threatening human life directly or indirectly. For this reason, for sustainable agricultural irrigation, wastewaters must be purified appropriately before their use for this purpose, and pollutant concentrations must be constantly controlled. The grade of the treatment and the technologies to be used can be selected based on the pollutants and limit values determined by that country or the World Health Organization. Many studies have shown that suitably treated wastewaters can be used in agricultural irrigation, including raw fruits and vegetables.

Keywords: Treated wastewater, Municipal wastewater, Reuse, Agricultural irrigation

1 Giriş

Su doğal bir kaynaktır ve canlı yaşamı için vazgeçilmezdir. Küresel nüfus artışı ve artan yaşam standartları temiz su kaynaklarına olan talebin gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Buna karşın küresel iklim değişikliği ve çevresel kirlilikler var olan temiz su kaynaklarını da azaltmakta, bazı kurak ve yarı kurak bölgelerde tatlı içme suyu kaynaklarına ulaşmak bile imkânsız hale gelmektedir [1]-[3].

Suyun kullanım alanlarının dağılımı değişiklikler göstermekle birlikte dünyada toplam temiz suyun ortalama olarak %70'i tarımsal, %20'si endüstriyel ve %10'u evsel amaçlı kullanılmaktadır [4]. Bu oranlardan da görüldüğü gibi tarımsal sulama amacı ile kullanılan temiz su toplam kullanılan suyun çok büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Artan nüfusa bağlı olarak 2050'ye kadar %70 daha fazla yiyecek üretilmesi gerektiği buna bağlı olarak ta tarımsal sulama için gerekli su miktarının artacağı öngörülmüştür [5]. Bu nedenle özellikle su sıkıntısı çeken ve hem atıksuyun arıtma özelliğinden kurtulmak hem de atıksu içerisindeki zengin besin kaynaklarını değerlendirmek isteyen ülkelerde arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacı ile kullanılması gün geçtikçe artan bir uygulama haline gelmiştir [6],[7].

Atıksuların arıtıldıktan sonra tarımsal sulama amacı ile kullanımının yanı sıra endüstriyel amaçlı, kentsel amaçlı ya da görsel ve çevresel amaçlı kullanımları da söz konusudur. Yangın söndürme, toz kontrolü, sifon suyu, kar eritme ve araba yıkama arıtılmış atıksuların kentsel amaçlı kullanımlarından bazılarıdır. Arıtılmış atıksular kullanılarak yapay sulak alanların, balık çiftliklerinin ve kıyı yaşam alanlarının oluşturulması, yeraltı sularının beslenmesi de görsel ve çevresel amaçlı kullanımlarına örnek olarak verilebilir. Endüstriyel kullanımları ise endüstrinin cinsine bağlı olarak değişmekle birlikte temelde soğutma suyu, kazan besleme suyu ve proses suyu olarak kullanımları söz konusudur [8],[9].

Atıksuların tekrar kullanılmasında arıtım derecesi önemlidir, endüstriyel amaçlı tekrar kullanım durumunda daha iyi bir arıtım sağlamak amacı ile (membran teknolojileri, kimyasal oksidasyon, iyon değiştirme vb.) ileri arıtım yöntemleri gerekebilmektedir [10]-[14].

2 Tarımsal sulamada kullanılan atıksular

Tarımsal sulama amacı ile çoğunlukla kentsel atıksular kullanılmaktadır. Çoğu endüstriyel atıksuyun içeriğindeki toksik bileşikler nedeniyle sulama amaçlı kullanılması tehlikelidir. Buna karşın gıda-içecek endüstrileri (bira, şeker,

maya, meyve işleme vb.) gibi daha temiz endüstri atıksularının tarımsal sulama amacı ile direkt ya da seyreltilerek kontrollü kullanımı mümkündür [15],[16]. Ürdün'de bir maya endüstrisi atıksularının tarımsal sulama amacı ile kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre organik madde içeriği yüksek maya endüstrisi konsantre atıksuları ile sulanan bitkilerde olumsuz etkiler gözlemlenirken bu atıksuların seyreltilerek kullanılması bitki büyümesini olumlu yönde etkilemiştir [15].

Hacim olarak toplam atıksuların büyük bir kısmını kentsel atıksular oluşturmaktadır ve bu atıksuların çevreye zarar vermeden deşarj edilmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda atıksuların deşarjı için uygun alıcı ortam bulmak zor olabilmektedir. Ayrıca kentsel atıksular içerisindeki azot ve fosfor gibi besin elementlerinin giderimi klasik arıtma yöntemleri ile ikincil arıtım sonrası ancak belirli oranlarda gerçekleşmektedir. Bu arıtılmış atıksuların alıcı ortama deşarj edilmesi ekolojik sisteme zarar verebilmektedir. Bu zararlılardan en bilineni ötrofikasyondur. Bu nedenle kentsel atıksuların tarımsal sulamada kullanılması hem deşarj sonrası ekolojik sisteme verebilecekleri zararları engellemekte hem de azot ve fosfor içeriğinden dolayı bitkiler için besin kaynağı olarak gübre ihtiyacını azaltmaktadır [17],[18].

Dünya genelinde birçok ülkede atıksuların arıtılarak, arıtılmadan, kısmen arıtılarak ya da seyreltilerek tarımsal sulama amaçlı kullanımı görülmektedir. Örneğin, İsrail'de arıtılmış atıksuların %85'den fazlası, İspanya'da yaklaşık %71'i [19], Amerika Birleşik Devletleri'nin California Eyaleti'nde %65'i [6] tarımsal sulama amacı ile tekrar kullanılmaktadır. Buna karşın mevcut temiz su kaynaklarının azlığı ve atıksuların toplama ve arıtma maliyetinin fazlalığından dolayı gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde atıksular hiç arıtılmadan ya da yağmur suyu gibi temiz bir su kaynağı ile seyreltilerek tarımsal sulama amacı ile kullanılabilir [20]-[23]. Dünyada 20 milyon hektar kadar alan hiç arıtılmamış ya da kısmen arıtılmış atıksular ile sulanmaktadır [24],[25]. Örneğin; Pakistan'da yetiştirilen bitkilerin %26'sı [26] ve Meksika'da 260000ha alanın çoğu hiç arıtılmamış atıksular ile sulanırken Gana'da 11500ha tarım alanının sulanmasında nehir ve dere suları ile seyreltilmiş arıtılmamış atıksular kullanılmaktadır [27].

3 Atıksuların tarımsal sulamada kullanılması önemli parametreler

Atıksuların tarımsal sulamada tekrar kullanılmasının amacı sulama için gerekli su ihtiyacını karşılamak bu sırada da hem çevreyi oluşabilecek olumsuz etkilere karşı korumak hem de üretici ve tüketicilerin sağlık güvenliğini sağlamaktır [28]. Ayrıca kentsel atıksular ile tarım arazilerinin uzun dönem sulanması toprağın kimyasal bileşimi, morfolojisi ve fiziksel yapısı gibi kalite özelliklerini bozabilmekte ve yeraltı suyunu kirlitebilmektedir [2],[29],[30]. Bu nedenle arıtılmış atıksular ile sulamanın yapılacağı alanlarda iyi bir drenaj sisteminin yapılması ve zamanla birikecek kirlleticilerin yıkanarak bu drenaj sistemleri vasıtasıyla topraktan uzaklaştırılması gerekmektedir. Aksi halde yeraltı suyuna karışacak kirleticiler daha sonra bu suyun temiz bir su kaynağı olarak kullanılmasını engelleyecek ve hem ekonomik hem de sağlık problemleri oluşturacaktır [1].

Atıksular içerisinde suyun kaynağına ve arıtma derecesine bağlı olarak patojenler, ağır metaller, toksik bileşikler, mikroorganizmalar, tuzlar, organik ve inorganik maddeler, askıda katı maddeler (AKM) gibi kirleticiler bulunabilir [19],[31]. Bu

kirleticilerden patojenler ile endüstriden karışabilecek ağır metaller, zor parçalanabilir kimyasallar ve kanserojen maddeler direkt maruz kalan çiftçilerin sağlığını doğrudan, o bölgede yaşayan ya da yetiştirilen ürünü tüketen insanların sağlığını da dolaylı olarak etkilemektedir [16]. Bunun yanı sıra tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde (TDS), sodyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve bor gibi parametreler de yetiştirilecek olan bitkileri etkileyen sulama suyunda dikkat edilmesi gereken parametrelerdir [32]-[35].

3.1 Patojenler

Arıtılmamış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasındaki en büyük risk çeşitli hastalıklara neden olan patojenlerdir. *Vibrio cholerae* bakterisinin neden olduğu kolera gibi bakteriyel hastalıklar, hepatit gibi viral hastalıklar, *Ampiler*'in neden olduğu dizanteri gibi protozoal hastalıklar ve *Helmint* gibi parazitlerin neden olduğu hastalıklar sularda patojenlerin neden olabileceği en önemli hastalıklar arasındadır [16],[22],[36]-[39].

Patojenlerin sudaki bulunurluğu arıtma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Patojenlerin insan sağlığına zarar vermeyecek seviyelere indirilmesi için atıksuların muhakkak arıtılması ve uygun dezenfeksiyon yöntemleri kullanarak dezenfekte edilmesi gerekmektedir [40]. Günümüzde birçok dezenfeksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde en yaygın kullanım alanını klor, ozon, Perasetik asit ve ultraviyole (UV) ışın oluşturmaktadır [1],[14],[22],[41]-[44].

Hiç arıtılmamış, kısmi ya da ikincil biyolojik arıtılmış atıksular farklı türlerde ve farklı miktarlarda da olsa insan sağlığını tehdit edecek patojenler içermektedir [40],[45]. Örneğin, Fransa'nın Clermont-Ferrand kentinin aktif çamur, azot ve fosfor giderme ünitelerinden oluşan arıtma tesisinde arıtılan kentsel atıksular ile 1500ha'lık bir alan döner fıskiyeyle ile sulanmaktadır. Bölgede yapılan bir çalışmada *Hepatit E Virüsü*'nün arıtma sonrası tamamen giderilemediği, farklı miktarlarda hem suda hem de atıksular aerosollerini nedeniyle sulama yapılan bölgedeki havada bulunduğu tespit edilmiştir [46].

Sulama suyunda olabilecek patojenlerin yayılmasında sulama sistemlerinin rolü önemlidir. Sulamada fıskiyeyle kullanılması patojenlerin sıçrayan atıksular ve aerosoller ile yayılmasına neden olmaktadır. Bu da çiftçiler ve sulama alanına yakın diğer canlılar için risk oluşturmaktadır. Fıskiyeyle yapılan yağmurlama sulama yöntemi yerine son yıllarda geliştirilen malçlama ile birlikte damlatmalı sulama yöntemleri hem patojenlerin yayılmasını engellemekte hem de su direkt bitki köküne verildiği için daha verimli bir sulama imkanı sağlamaktadır [18],[22].

Suyun patojenler tarafından kirlendiğinin göstergesi *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterisidir çünkü dezenfeksiyona karşı dirençlidirler ve farklı çevre şartlarında uzun süre hayatta kalabilirler. *E. coli* 100 mL sudaki koloni sayısı olarak ifade edilirler [28].

3.2 Ağır metaller

Ağır metaller atıksuların tarımsal sulama amacı ile kullanılması durumunda insan sağlığını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Geleneksel arıtma yöntemleri ağır metalleri atıksudan gidermede etkili yöntemler değildir. Ağır metaller arıtma çıkış sularında farklı konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Düşük konsantrasyonlarda dahi olsa ağır metaller toprakta, bitkilerin kök, yaprak ve meyvelerinde zaman içerisinde birikirler.

Toprakta biriken ağır metallerin yeraltı suyuna sızması buradan da insan ve diğer canlıların bünyesine geçmesi büyük olasılıktır. Aynı şekilde bitkinin yaprak ve meyvelerinde biriken ağır metaller bunların tüketilmesi sonucu canlı hayatını tehdit etmektedir [27],[47]-[49]. Bu nedenle ağır metallerin sulama suyunda kontrolü oldukça önemlidir.

Kentsel atıksular tarımsal sulamada kullanıldıkları zaman ağır metal bakımından genellikle endüstriyel atıksular kadar büyük problemler yaratmazlar [50],[51].

Patojenlerin insan sağlığına akut bir etkisi olmasına karşın, ağır metallerin etkisi daha uzun vadede gerçekleşmektedir. Bu nedenle literatürde tarımsal alanların atıksular ile sulanması durumunda patojenlerin insan sağlığına etkisi üzerine çok sayıda çalışma varken ağır metallerin etkileri ile ilgili çalışmalar çok azdır [1].

3.3 Sodyum ve SAR

Sulama suyundaki sodyum toprak yapısındaki katyonlar ile iyon değişimi yapar. Kalsiyum ve magnezyum ile yaptığı katyon değişimi sırasında toprağın yapısı bozulur ve toprak parçalanır. Toprağın daha küçük parçalara ayrılması toprak porozitesini düşürür. Bu da hem sulama suyunun toprakta filtrasyonunu azaltır hem de toprağın havalanmasını engeller. Her iki durumda da bitki gelişimi olumsuz etkilenir [27],[52],[53]. Ayrıca sodyum bitkiler üzerinde toksik etki yapmaktadır. Sodyum toksisitesi, özellikle bitki yapraklarına zarar vermektedir [54],[55].

Toprak yapısındaki suda ve sulama suyunda sodyum iyonunun baskın olup olmadığını belirlemek için SAR parametresi kullanılmaktadır. SAR'ın hesaplanmasında kullanılan formül birimler meq/L olmak üzere Denklem (1)'de verilmiştir.

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

Bazen yüksek SAR değeri arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama amaçlı kullanılmasında temel belirleyici parametre olabilmektedir. SAR'ın yüksek olması sudaki tuzluluğun da yüksek olduğu anlamına gelmektedir ve genellikle elektriksel iletkenlik (EC) ile birlikte değerlendirilir. Sulama suyunun SAR ve EC değerleri biliniyor ise o suyun toprakta oluşturabileceği potansiyel filtrasyon problemi hakkında bilgi sahibi olunabilir [27]. Aynı SAR değerine sahip farklı sulama sularında EC değeri yüksek olan tercih edilmelidir. Ters durum sodyum iyonunun diğer iyonlardan baskın olduğu, iletkenliğin çoğunlukla sodyum iyonundan kaynaklandığını gösterir.

Suda bikarbonat (HCO_3^-) yüksek ise kalsiyum ile kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) olarak çöker ve suda kalsiyum miktarı azalmış olur. Bu da sodyum miktarında bir değişiklik olmamasına rağmen SAR değerinin göreceli artmasına neden olur. SAR değerinin yüksek olduğu sulara kalsiyum miktarını arttırmak için suya kalsiyum oksit (CaO) ya da kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) ilavesi yapılır [52].

3.4 Tuzluluk, EC ve TDS

Su içerisindeki TDS tuzluluğun göstergesidir ve EC ile doğru orantılıdır. TDS ile EC arasındaki tahmini ilişki aşağıda Denklem 2'de verilmiştir [52].

$$TDS (mg/L) \approx 0.64 \times EC(dS/m) \quad (2)$$

Toprakta tuzluluğa neden olan temel iyonlar sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve klorürdür [56]. Bitki köklerinde ve toprakta tuz birikimi önemli bir sorundur. Suyun bitki kökleri tarafından alınması osmotik basınç ile gerçekleşmektedir. Toprak suyunda tuzluluğun artması sonucu bitki hücreleri ile arasındaki osmotik basınç farkından dolayı bitki toprak suyunu seyreltmek için hücre suyunu toprağa verir. Bu da bitkinin susuz kalmasına ve ölmesine neden olur [58],[59].

Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde suyun topraktan buharlaşmasının fazla olması zaman içerisinde topraktaki tuz konsantrasyonunu artırır [51]. Her bir bitkinin tuza karşı toleransı farklıdır. Bu nedenle arıtılmış atıksu ile uzun vadeli bir sulama yapabilmek için EC sürekli kontrol edilmeli ve yetiştirilen bitkiler için kabul edilebilir seviyelerde tutulmalıdır [50],[58].

Arıtılmış atıksuyun kullanılması durumunda toprakta zamanla tuzluluğun artması beklenir, bunu engellemek için iyi bir drenaj sisteminin yapılması ve belirli aralıklarla arıtılmış atıksu yerine temiz su ya da seyreltilmiş atıksu ile toprağın sulanarak biriken tuzluluğun topraktan yıkanarak drenaj sistemi ile uzaklaştırılması gerekir [27],[51],[57].

3.5 Özgül iyon toksisitesi

Sulama suyu içerisindeki bazı özgül iyonlar bitki bünyesine alınıp belirli konsantrasyonların üzerine ulaştıktan sonra o bitki için toksik etki yapmaya başlar ve zaman içerisinde bitkinin yapraklarında sararma ve kurumalara neden olurlar. Bu iyonlardan atıksu içerisinde en çok rastlanan sodyum, klorür ve bordur [27].

Sodyum ve klorürün toksik etkisi bazı bitkiler üzerindedir. Buna karşın bor bitkilerin gelişimi için gerekli olan bir mikro besin elementidir fakat belirli konsantrasyonların üzerinde çoğu bitkide toksik etki yapabilmektedir [53]. Kentsel arıtılmış atıksular içerisindeki bor çoğunlukla evlerde kullanılan deterjanlardan kaynaklıdır [27]. Toprak bünyesinde de belirli miktarda bor olduğu düşünülürse yetiştirilecek bitkinin bora karşı olan toleransı dikkate alınırken hem sulama suyundan gelecek bor miktarı hem de topraktaki bor miktarı hesaplanmalıdır [53]. Genellikle toprakta 1 mg/L'nin altındaki bor konsantrasyonu bütün bitkiler için emniyetlidir [52].

3.6 Besin elementleri

Kentsel arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması durumunda içerisindeki besin elementlerinden dolayı gübre kullanımını azalttığı, ekonomik bir getirisi olduğu aşikardır. Fakat kentsel atıksular içerisindeki besin elementlerinden özellikle azot ve fosfor bazen bitkiler için gerekenden fazla olabilir. Bu besin elementlerinin fazlalığı aşırı bitki büyümesi, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Fosfor toprak ortamından süzülürken adsorpsiyon ve çökme ile giderilirken azot oksijen ile yükseltgenerek yeraltı suyunda ciddi problemlere neden olabilecek nitrate dönüşmektedir [27],[52],[60].

Her bitkinin farklı sulama miktarına ve farklı besin elementlerine farklı miktarlarda ihtiyacı vardır [61]. Örneğin domates yüksek potasyum ihtiyacı gösterir, fasulye özellikle düşük azot ister. Buna karşın narenciye ağaçlarının fosfor gereksinimleri ihtiyaçları olan suya nispeten çok azdır [50]. Bu nedenle arıtılmış atıksu ile sulama yapılacak sahada hangi bitkinin yetiştirileceği aşırı besin elementlerinin olumsuz etkilerinden kurtulabilmek için önemlidir. Ayrıca bazen direk

arıtılmış atıksuyun kullanılması yerine başka bir temiz su kaynağı ile seyreltilerek kullanılması da etkili olmaktadır.

3.7 AKM

Kentsel atıksular çoğunlukla yüksek konsantrasyonlarda AKM içerir [24]. AKM'nin içerisindeki organik maddeler nedeniyle toprağın ilk katmanlarında mikrobiyal faaliyetler hızlanır buna bağlı olarak ta biyokütlede artış olur. Hem biyokütlenin artması hem de yine AKM'nin içerisindeki parçalanamayan inorganik kısmın zamanla toprak yüzeyinde birikmesi toprağın filtrasyonunu azaltır, hatta toprağın ve sulama sistemindeki boruların tıkanmasına neden olur [29],[53],[62].

4 Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması ile ilgili standartlar

Tarımsal sulama amacı ile kullanılacak atıksuların olumsuz etkilerini önlemek için kirleticilerin sürekli kontrol altında tutulması gerekir. Bu amaçla bazı uluslararası kuruluşlar ve ülkeler tarafından arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması durumunda dikkat edilmesi gereken parametreler belirlenmiş ve bu parametreler için standartlar oluşturulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1989 yılında arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanımı ile ilgili yayınladığı yönergeyi 2006 yılında yeniden düzenlemiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) da 1992 yılında benzer bir yönerge yayınlamıştır [1],[63].

Türkiye'de arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına dair mevzuat birçok ülkeden önce ilk kez 7 Ocak 1991 tarihinde WHO standartları temel alınarak 20748 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği"nde yer almıştır [52]. Daha sonra yapılan bazı kapsam değişiklikleri ile birlikte bu standartlar 20 Mart 2010 tarih ve

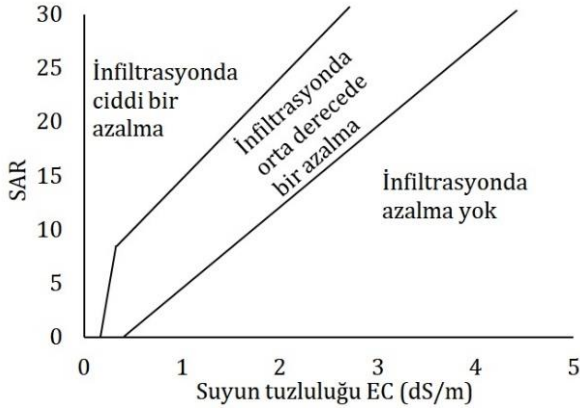
27527 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" ("AATTUT") yedinci bölümde "Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı" başlığı altında yasal bir zemine oturtulmuştur [64].

AATTUT'ye göre sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloda arıtılmış atıksu sulamada kullanılması açısından Sınıf A ve Sınıf B olarak iki gruba ayrılmıştır. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri direk yenildiği için; park bahçe gibi alanların sulanması sırasında da insanların su ile direk teması olabileceği için atıksuyun daha iyi kalitede olması gerekmektedir. Bu amaçlarla sulama yapılacak ise Tablo 1'de verilen ve kirletici sınır değerleri daha düşük olan Sınıf A tipi su kullanılması öngörülmüştür. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri, halkın girişinin kısıtlı olduğu alanlar ya da mera alanları sulanacak ise Sınıf B tipi su kullanılabilir [64].

AATTUT'de yer alan sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri Tablo 2'de verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerektiği vurgulanmıştır. Sulama suyunun kimyasal kalitesi değerlendirilirken verilen parametre sınır değerleri dikkate alınarak sulamada kullanılacak arıtılmış atıksular I. sınıf su, II. sınıf su ve III. sınıf su olarak üç gruba ayrılmıştır. Tablo 2'de kullanılan SAR_{Tad}, Ca²⁺ çözünürlüğünün sudaki HCO₃⁻ konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği ifade etmek için SAR değeri yerine geliştirilmiştir. 3.3 başlığında anlatıldığı gibi Tablo 2'de de SAR ve EC değerleri birlikte değerlendirilerek toprağın geçirgenliği hakkında bilgiler verilmiştir. SAR ve EC'nin toprağın infiltrasyonu üzerine etkisi Şekil 1'de gösterilmiştir [64].

Tablo 1: Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (AATTUT-Tablo E7.1)

Geri Kazanım Türü	Arıtma Tipi	Geri Kazanılmış Suyun Kalitesi	İzleme Periyodu	Uygulama Mesafesi
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a) Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt yenilebilen her tür gıda ürünü	İkincil arıtma Filtrasyon Dezenfeksiyon	pH=6-9 BOI ₅ <20 mg/L Bulanıklık <2 NTUf	pH: Haftalık BOI ₅ : Haftalık Bulanıklık: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b) Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)		Fekal koliform: 0/100 mL Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. Bakiye klor>1 mg/L	Koliform: günlük Bakiye klor: sürekli	
Sınıf B				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri</i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c-Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	İkincil arıtma Dezenfeksiyon	pH=6-9 BOI ₅ <30 mg/L AKM<30 mg/L	pH: Haftalık BOI ₅ : Haftalık AKM: günlük	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede.
b) Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler		Fekal koliform<200 ad/100 mL Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. Bakiye klor>1 mg/L	Koliform: günlük Bakiye klor: sürekli	-Yağmurlama sulama yapılıyorsa halkın bulunduğu ortama en az 30 m
c) Otlak hayvanları için mera sulaması				



Şekil 1: SAR ve EC'nin toprağın infiltrasyonu üzerine etkisi

Sulama sularında AATTUT'ye göre izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları ise Tablo 3'te verilmiştir. Herhangi bir madde toprakta mg/kg olarak C_0 konsantrasyonuna sahipse sulanan topraktaki bu maddenin toplam değeri kg/ha olarak Denklem 3'te verilen formül ile bulunabilir [64].

$$C(kg/ha) \approx 4.2 \times C_0(mg/kg) \quad (3)$$

Denklem 3'ten ha alan başına düşen ağır metal miktarı bulunduktan sonra Tablo 3'teki bir ha alanda bulunabilecek maksimum ağır metal miktarından çıkartılırsa aradaki fark sulama suyu ile bir ha alana verilebilecek maksimum ağır metal miktarını verir.

Tablo 2: Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi (AATTUT-Tablo E7.2)

Parametreler	Birimler	Kullanımında Zarar Derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az - orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Tuzluluk				
İletkenlik	$\mu S/cm$	<700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde	mg/L	<500	500-2000	>2000
Geçirgenlik				
		EC \geq 0.7	0.7-0.2	<0.2
		\geq 1.2	1.2-0.3	<0.3
SAR _{rad}		\geq 1.9	1.9-0.5	<0.5
		\geq 2.9	2.9-1.3	<1.3
		\geq 5.0	5.0-2.9	<2.9
Özgül iyon toksisitesi				
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

Ayrıca bu tebliğde atıksu geri kazanım tesisinin yeri, arıtılmış atıksuların depolanması, farklı bitkilerin sodyuma, tuzluluğa, bora ve klorüre olan toleransları, geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları, nütrient seviyeleri, atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler, arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler, sulama metotları vb. tablolar halinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 3: Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (AATTUT-Tablo E7.7)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması da sınır değerler mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-	2.0
Kadmium (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05 ²
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

5 Atıksuların tarımsal sulamada kullanımında arıtım yönteminin seçimi

Tarımsal sulama amacı ile atıksuların kullanılması hem bitkilerin gelişimi için besin maddeleri içeren yeni bir su kaynağı olması hem de temiz su kaynaklarının tüketimini azaltması açısından oldukça önemlidir. Fakat atıksuların oluşturduğu kaynağa bağlı olarak askıda ya da çözünmüş halde çok sayıda kirletici unsurlarını içerdiği unutulmamalıdır. Bu kirleticiler içerisinde yukarıda da bahsedildiği gibi insan ve diğer canlıların sağlığını doğrudan ya da oluşturduğu çevre kirliliği sonucu dolaylı yoldan ciddi derecede tehdit eden kirleticiler vardır. Bu nedenle atıksuların arıtım derecesi ve uygulanacak teknolojiler önem kazanmaktadır.

Tarımsal sulamada kullanılacak bir arıtılmış atıksuyun arıtılma derecesi o atıksuyun niteliğine, bölgesel şartlara, yetiştirilecek bitki türlerine ve ülkenin yönetmeliklerindeki standartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir [1].

Endüstriyel nitelikli atıksular tarımsal sulamada kullanılacak ise endüstrinin tipine bağlı olarak atıksu özellikleri değişeceği için uygulanacak arıtma yöntemleri de farklılık gösterecektir. Endüstriyel atıksuların arıtılması daha karmaşıktır ve ileri arıtım yöntemleri gerektirebilmektedir. Kentsel nitelikli atıksular ise çoğu endüstriyel atıksulara göre daha kolay ve maliyeti daha düşük arıtma gerektirir, ayrıca hacimsel olarak endüstriyel atıksulardan çok daha fazladır [1]. Bu özelliklerinden dolayı daha önceden de bahsedildiği gibi tarımsal sulamada kullanımları çok daha yaygındır. Buna karşın kentsel atıksular farklı türlerde çok sayıda patojen içermektedir ve ikincil biyolojik arıtılmış atıksular içerisinde de patojenler bulunabilmektedir [40],[65]. Bu nedenle ikincil arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmadan önce

dezenfekte edilmesi gerekmektedir. Hatta yapılan bir çalışmada; kentsel atıksuları ileri biyolojik arıtım ünitesi sonrası UV ve perasetik asit kullanarak iki kademede dezenfekte eden bir atıksu arıtma tesisi çıkış sularında bile hala yüksek miktarlarda antibiyotiğe dayanıklı patojenlerin bulunduğu tespit edilmiştir [40].

Yapılan başka bir çalışmada da ultrafiltrason ve ters ozmos membran ayırma ile ikincil arıtılmış atıksular ileri arıtılarak tuz giderimine bakılmıştır. Her iki membran teknolojisi sonucunda atıksudan patojenler, tuzlar ve çözünmüş kirleticilerin çoğu başarılı bir şekilde giderilmiştir. Fakat bu şekilde su içerisindeki çözünmüş organik maddeler ve besin maddeleri de giderilmiştir ve su gübre özelliğini kaybettiği için tarımsal sulama amacından çıkmıştır. Ayrıca membran maliyetlerinin yüksek olması ve tarım alanında ilave gübre kullanma ihtiyacının oluşmasından dolayı tavsiye edilmemiştir [18].

6 Sonuçlar

Suya olan ihtiyacın artmasına bağlı olarak atıksuların tarımsal sulamada kullanımı artmıştır. Fakat atıksular arıtılmadan hiçbir şekilde tarımsal sulamada kullanılmamalıdır, arıtılmış atıksular kullanılırken de standartlar ile belirlenmiş kirletici parametreleri ve sınır değerleri dikkate alınarak sürekli kontrol altında tutulmalıdır.

Sulama yapılacak alanın toprak ve yeraltı suyu özelliklerinin, yetiştirilecek bitkiler için gerekli besin maddelerinin, sulamada kullanılacak atıksuyun kaynağının ve içerisindeki kirletici unsurların, bölgenin sosyal, ekonomik, iklim vb. özelliklerinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu bilgiler doğrultusunda seçilecek uygun bir arıtma, sulama ve drenaj yöntemi ile arıtılmış atıksular kullanılarak uzun dönemli sürdürülebilir bir tarımsal sulama yapılabilir. Bu şartların sağlanması halinde arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada çığ yenen meyve ve sebzelerin sulanması da dahil olmak üzere kullanılabileceğini yapılan birçok çalışma göstermiştir.

7 Kaynaklar

- [1] Hussain I, Raschid L, Hanjra MA, Marikar F, Van der Hoek W. International Water Management Institute. "Wastewater use in agriculture: Review of impacts and Methodological Issues in Valuing Impacts". Colombo, Sri Lanka, Working Paper 37, 2002.
- [2] Tessaro, D, Sampaio SC, Castaldelli APA. "Wastewater use in agriculture and potential effects on meso and macrofauna soil". *Ciência Rural*, 46(6), 976-983, 2016.
- [3] Qadir M, Wichnells D, Raschid-Sally L, Minhas PS, Drechsel P, Bahri A, McCornick P. *Agricultural use of Marginal-Quality Water-Opportunities and Challenges*. Editor: Molden, D. Water for Food, Water for Life, 425-457, London and International Water Management Colombo: Institute, 2007.
- [4] Worldometers, "Water Consumed This Year". www.worldometers.info/water (18.09.2017).
- [5] World Water Assessment Programme. "Managing Water Under Uncertainty and Risk". The United Nations World Water Development, Paris, France, Report 4, 2012.
- [6] Kalavrouziotis IK, Arambatzis C, Kalfountzos D, Varnavas SP. "Wastewater reuse planning in agriculture: The case of Aitolokarnania, Western Greece". *Water*, 3(4), 988-1004, 2011.

- [7] Woltersdorf L, Liehr S, Scheidegger R, Döll P. "Small-scale water reuse for urban agriculture in Namibia: Modeling water flows and productivity". *Urban Water Journal*, 12(5), 414-429, 2015.
- [8] Bixio D, Thoeye C, De Koning J, Joksimovic D, Savic D, Wintgens T, Melin T. "Wastewater reuse in Europe". *Desalination*, 187(1-3), 89-101, 2006.
- [9] Hansen E., Rodrigues MAS, de Aquim PM. "Wastewater reuse in a cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers". *Journal of Environmental Management*, 181, 157-162, 2016.
- [10] Yuan H, He Z. "Integrating membrane filtration into bioelectrochemical systems as next generation energy-efficient wastewater treatment technologies for water reclamation: a review". *Bioresource Technology*, 195, 202-209, 2016.
- [11] Garg MC, Joshi H. "A review on PV-RO process: solution to drinking water scarcity due to high salinity in non-electrified rural areas". *Separation Science and Technology*, 50(8), 1270-1283, 2015.
- [12] Shenvi SS, Isloor A, Ismail AF. "A review on RO membrane technology: developments and challenges". *Desalination*, 368, 10-26, 2015.
- [13] Xua J, Wub AC, Changb Y, Zhanga G. "Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment". *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3), 780-786, 2010.
- [14] Baresel C, Dahlgre, L, Lazi, A, De Kerchove A, Almemark M, Ek M, Harding M, Ottosson E, Karlsson J, Yang J, Allard AS, Magnér J, Ejhed H, Björk A. "IVL Swedish Environmental Research Institute. "Reuse of treated wastewater for non-potable use (ReUse)". Final Report, Stockholm, Sweden, 142, 2016.
- [15] Abu-Dieyeh MH, Diab M, Al-Ghouti MA. "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, 2017.
- [16] Banerjee A. "Wastewater use for agriculture in India: A background review". *Wastewater Use for Agriculture in India*, 1-12, 2016.
- [17] Goncalves, IZ, Barbosa EAA, Santos LNS, Nazário AA, Feitosa DRC, Tuta NF, Matsura EE. "Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip". *Agricultural Water Management*, 185,105-115, 2017.
- [18] De La Cueva Bueno P, Gillerman L, Gehr R, Oron G. "Nanotechnology for sustainable wastewater treatment and use for agricultural production: A comparative long-term study". *Water Research*, 110, 66-73, 2017.
- [19] Reznik A, Feinerman E, Finkelshtain I, Fisher F, Huber-Lee A, Joyce B, Kan I. "Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective". *Ecological Economics*, 135, 222-233, 2017.
- [20] Khalil S, Kakar MK. "Agricultural use of untreated urban wastewater in Pakistan". *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 1(1), 21-26, 2011.
- [21] Kellis M, Kalavrouziotis IK, Gikas P. "Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications". *Global NEST Journal*, 15(3), 333-350, 2013.

- [22] Seder N, Abdel-Jabbar S. Arab Countries Water Utilities Association (ACWUA). "Safe use of treated wastewater in agriculture: Jordan case study". Amman, Jordan, 2011.
- [23] Leas EC, Dare A, Al-Delaimy WK. "Is grey water the key to unlocking water for resource-poor areas of the Middle East, North Africa, and other arid regions of the world?". *Ambio*, 43(6), 707-717, 2014.
- [24] Biswas SK, Mojid MA, Wyseure GCL, "Physicochemical properties of soil under wheat cultivation by irrigation with municipal wastewater in Bangladesh, communications in soil science and plant analysis". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(1), 1-10, 2017.
- [25] World Health Organization. "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater". Geneva, Switzerland, Volume 4, 2006.
- [26] Ensink HH, Mehmood T, Vand der Hoeck W, Raschid-Sally L, Amerasinghe FP. "A nation-wide assessment of wastewater use in Pakistan: An obscure activity or a vitally important one?". *Water Policy*, 6(3), 197-206, 2004.
- [27] Pedrero F, Kalavrouziotis I, José Alarcón J, Koukoulakis P, Asano T. "Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece" *Agricultural Water Management*, 97(9), 1233-1241, 2010.
- [28] Gatta G, Libutti A, Beneduce L, Gagliardi A, Disciglio G, Lonigro A, Tarantino E. "Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: Assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield". *Scientia Horticulturae*, 213, 55-65, 2016.
- [29] Van Oort F, Thiry M, Foy E, Fujisaki K, Delarue G, Dairon R, Jongmans T. "Impacts of one century of wastewater discharge on soil transformation through ferrollysis and related metal pollutant distributions". *Science of the Total Environment*, 590-591, 1-13, 2017.
- [30] Tamtam F, Van Oort F, LeBot B, Dinh T, Mompelat S, Chreveil M, Lamy I, Thiry M. "Assessing antibiotic contamination in metal contaminated soils four years after cessation of long-term wastewater irrigation". *Science of the Total Environment*, 409(3), 540-547, 2011.
- [31] Liebe J, Ardakanian R. *Safe Use of Wastewater in Agriculture*. UN-Water Decade Programme on Capacity Development, Bonn, Germany, 2013.
- [32] Chen Z, Ngo HH, Guo W. "A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes". *Science of The Total Environment*, 426, 13-31, 2012.
- [33] Murray A, Ray I. "Wastewater for agriculture: A re-use oriented planning model and its application in semi-arid China". *Water Research*, 44(5), 1667-1679, 2010.
- [34] O'Connor GA, Elliott HA, Bastian RK. "Degraded water reuse: An overview". *Journal of Environment Quality*, 37(5), 157-168, 2008.
- [35] Hamilton AJ, Stagnitti F, Xiong X, Kreidl SL, Benke KK, Maher P. "Wastewater irrigation: The state of play". *Vadose Zone Journal*, 6(4), 823, 2007.
- [36] Bernstein N. "Potential for contamination of crops by microbial human pathogens introduced into the soil by irrigation with treated effluent". *Israel Journal of Plant Sciences*, 59(2-4), 115-123, 2011.
- [37] Habbari K, Tifnouti A, Bitton B, Mandil A. "Geohelminthic infections associated with raw wastewater reuse for agricultural purposes in Beni-Mellal, Morocco". *Parasitology International*, 48(3), 249-254, 2000.
- [38] Feenstra S, Hussain R, Van der Hoek W. International Water Management Institute and Institute of Public Health, Lahore "Health risks of irrigation with untreated urban wastewater in the Southern Punjab, Pakistan", IWMI Pakistan Report No. 107, Pakistan, 2000.
- [39] Ensink JH, Van der Hoek W, Amerasinghe FP. "Giardia duodenalis infection and wastewater irrigation in Pakistan". *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 100(6), 538-542, 2006.
- [40] Luprano ML, De Sanctis M, Del Moro G, Di Iaconi C, Lopez A, Levantesi C. "Antibiotic resistance genes fate and removal by a technological treatment solution for water reuse in agriculture". *Science of the Total Environment*, 571, 809-818, 2016.
- [41] Pourcher A, Picard-Bonnaud F, Ferré V, Gosinska A, Stan V, Moguedet G. "Survival of faecal indicators and enteroviruses in soil land-spreading of municipal sewage sludge". *Applied Soil Ecology*, 35(3), 473-479, 2007.
- [42] Liberti L, Lopez A, Notarnicola M. "Disinfection with Peracetic acid for domestic sewage re-use in agriculture". *Water and Environment Journal*, 13(4), 262-269, 1999.
- [43] Gori R, Caretti C. "Experimental study on municipal and industrial reclaimed wastewater refinement for agricultural reuse". *Water Science and Technology*, 58(1), 217-223, 2008.
- [44] Montemayor M, Costan A, Sala L. "The combined performance of UV light and chlorine during reclaimed water disinfection". *Water Science and Technology*, 57(6), 935-940, 2008.
- [45] Fonseca JA, Heredia RD, Ortiz C, Mazo M, Clavijo-Ramírez CA, Lopez MC. "Identification of Entamoeba moshkovskii in treated waste water used for agriculture". *EcoHealth*, 13(1), 156-160, 2016.
- [46] Courault D, Albert I, Perelle S, Fraisse A, Renault P, Salemkour A, Amato P. "Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation". *Science of the Total Environment*, 592, 512-526, 2017.
- [47] Lamy I, Van Oort F, Dère C, Baize D. "Use of major- and trace-element correlations to assess metal migration in sandy Luvisols irrigated with wastewater". *European Journal of Soil Science*, 57(5), 731-740, 2006.
- [48] Bourennane H, Dère C, Lamy I, Cornu S, Baize D, Van Oort F, King D. "Enhancing spatial estimates of metal pollutants in raw wastewater irrigated fields using a topsoil organic carbon map predicted from aerial photography". *Science of the Total Environment*, 361(1-3), 229-248, 2006.
- [49] Hoffmann C, Renger M, Hajnos M, Sokolowska Z, Joźefaciuk G, Marschner B. "Reactions of sewage farm soils to different irrigation solutions in a column experiment. 1. solid phase physicochemical properties". *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(6), 653-659, 1999.
- [50] Woltersdorf L, Scheidegger R, Liehr S, Döll P. "Municipal water reuse for urban agriculture in Namibia: Modeling nutrient and salt flows as impacted by sanitation user behavior". *Journal of Environmental Management*, 169, 272-284, 2016.
- [51] Ganjegunte G, Ulery A, Niu G, Wu Y. "Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate". *Industrial Crops and Products*, 99, 60-69, 2017.

- [52] Tanık A, Öztürk İ, Cüceloğlu G. *Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı)*. 2. Baskı. Türkiye Belediyeler Birliği. Ankara, Türkiye, 2016.
- [53] Urbano VR, Mendonc, TG, Bastos RG. "Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield". *Agricultural Water Management*, 181, 108-115, 2017.
- [54] PROMIX. "Role of Sodium and Chloride in Plant Culture" <http://www.pthorticulture.com/en/training-center/role-of-sodium-and-chloride-in-plant-culture/> (26.11.2017).
- [55] Maathuis FJ, "Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes". *Journal of Experimental Botany*, 65(3), 849-58, 2014.
- [56] Tanji KK, Kielen NC. *FAO irrigation and Drainage Paper 61. Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*, Rome, Food and Agricultural Organization, 2002.
- [57] Devitt DA, Lockett M, Morris RL, Bird BM. "Spatial and temporal distribution of salts on fairways and greens irrigated with reuse water". *Agronomy Journal*, 99(3), 692-700, 2007.
- [58] Jouyban Z. "The effects of salt stress on plant growth". *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 7-10, 2012.
- [59] Bhatt MJ, Patel AD, Bhatti PM, Pandey AN. "Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of ziziphus mauritiana (RHAMNACEAE)". *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 383-401, 2008.
- [60] Ak M, Gündüz O. "Fate of nutrients in secondary treated municipal wastewater during percolation through the soil media". *Clean Soil Air Water*, 42(8), 1036-1043, 2014.
- [61] Kalavrouziotis IK, Arambatzis C, Kalfountzos D, Varnavas SP. "Wastewater Reuse Planning in Agriculture: The Case of Aitolokarnania, Western Greece". *Water*, 3(4), 988-1004, 2011.
- [62] Ak M, Gündüz O. "Comparison of Organic Matter Removal from Synthetic and Real Wastewater in a Laboratory-Scale Soil Aquifer Treatment System". *Water Air and Soil Pollution*, 224(3), 1467-1483, 2013.
- [63] Blumentha UJ, Peasey A, Ruiz-Palacio G, Mara DD. "Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based On New Research Evidence". Report Summary of WELL, 68 (Part 1), London, United Kingdom, 2000.
- [64] TC. Çevre ve Orman Bakanlığı. "Atıksu Aritma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği". <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm> (17.09.2017).
- [65] Ben Ayed L, Schijven J, Alouini Z, Jemli M, Sabbahi S. "Presence of parasitic protozoa and helminth in sewage and efficiency of sewage treatment in Tunisia". *Parasitology Research*, 105(2), 393-406, 2009.