



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi:10.17100/nevbiltek.969541

Geliş Tarihi:12-07-2021

Kabul Tarihi:13-08-2021



Artılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi^A

Sümevra CAN¹, Hakan DULKADİROĞLU^{2*}

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0001-9894-6758

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-2110-1332

Öz

Bu çalışmada artılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun insan sağlığı üzerinde oluşturduğu riskler incelenmiştir. Artılmış atıksuyun tarımda kullanılması alternatif su kaynağı olarak temiz su kaynaklarının korunması yanında, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında kirliliğin önlenmesine katkıları sağlayabilmektedir. Bu avantajlarının yanı sıra tarımsal sulama ile birlikte atıksuyun içindeki yararlı mikroorganizmalar ve besinler sayesinde topraktaki gübre gereksinimi de karşılanmaktadır. Ancak artılmış atıksuyun tarımsal sulamada yeniden kullanılması ile içerisindeki hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalar ve kimyasallardan kaynaklı olarak doğan bazı riskler bulunmaktadır. Bu riskler insan sağlığı açısından da önemli sonuçlar doğurabilir. Bu çalışmada artılmış atıksuların tarımsal kullanımı nedeniyle insan sağlığı açısından oluşabilecek riskler, *What If?* risk analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizden elde edilen bulgulara göre, toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılması için gerek atıksu özellikleri, gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı; yeniden kullanım; tarımsal sulama; risk değerlendirme, What If?

Treated Wastewater Reuse in Agriculture and Its Risk Assessment for Human Health

Abstract

In this study, reuse of treated wastewater in agriculture and its risks on human health have been investigated. While reuse of treated wastewater in agriculture is protecting clean water resources as an alternative water resource, it is also preventing the pollution of underground and surface water resources. In addition to these advantages, the fertilizer requirement of soil is provided by beneficial microorganisms and nutrients contained by wastewater. However, there are some risks arising from the reuse of treated wastewater in agricultural irrigation due to pathogenic microorganisms and chemicals in it. These risks have important consequences for human health. In this study, the risk assessment in terms of agricultural use of treated wastewater and human health was evaluated by What If? risk assessment method. As a conclusion; in the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation, if appropriate treatment methods in terms of wastewater characteristics, soil structure and crop weaknesses are applied, the negative impacts on human health, soil and crop can be decreased.

Keywords: Wastewater treatment; reuse; irrigation; risk assessment, What If?

* Sorumlu yazar e-mail: hakandulkadiroglu@nevsehir.edu.tr

^ANevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Artılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

İlk defa 1980’lerde ortaya atılan “sürdürülebilirlik” kavramı ve buna yönelik politikaların, tarım ve sanayide üretimi daima artırma hedeflerinin karşısında aradan geçen on yıllara rağmen beklenen faydayı sağlamaktan çok uzakta olduğu görülmektedir. Nüfus artışının da tetiklemeyle, doğal kaynakların bir taraftan artan tüketimi ve diğer taraftan da artan tahribatı gelecek nesiller için önemli tehditler ortaya çıkarmaktadır. Yaşamın ana kaynağı olan su, aynı zamanda üzerinde en fazla baskı bulunan doğal kaynaktır. Diğer taraftan, her geçen gün etkisi daha fazla hissedilen küresel iklim krizi birçok bölgede su kıtlığına doğru gidişi hızlandırmaktadır. Su tüketimini azaltıcı ve kaynakların verimli kullanımını arttırıcı tedbirler yanında, bütünsel bir yaklaşımla çevre kirliliği, yani iklim değişikliği de dahil olmak üzere kirleticilerin su kaynaklarına doğrudan ve dolaylı olarak karışmasının önüne geçilmesi tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır.

Su kıtlığını değerlendirmede faydalanılan önemli göstergelerden birisi Su Kullanım İndeksi (WEI – *Water Exploitation Index*)’dir ve tatlı sulardan çekilen ortalama yıllık toplam su miktarının ülke seviyesinde ortalama toplam yıllık yenilenebilir tatlı su kaynaklarına bölünmesi ile elde edilir [1]. Türkiye’deki durumu değerlendirmek için genel hidrolojik çevrimi özetlemek faydalı olacaktır. Yıllık ortalama değerler olarak yağış miktarı yaklaşık 643 mm ve buna karşılık gelen hacim 501 milyar m³’tür. Bunun yaklaşık 274 milyar m³’ü buharlaşma yoluyla atmosfere dönerken, 69 milyar m³ yeraltularını beslemekte, 158 milyar m³ ise yüzeysel akış ile akarsulara, denizlere ve göllere ulaşmaktadır. Yeraltularına karışan 69 milyar m³ suyun 28 milyar m³’ü pınarlar vasıtasıyla yüzeysel sulara katılmaktadır. Komşu ülkelerden gelen yaklaşık 7 milyar m³ su da ilave edildiğinde, ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³, yeraltularını ile birlikte toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır [2].

Diğer taraftan, Türkiye’de su kullanımının yıllara göre değişimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de su kullanımının yıllara göre değişimi [2]

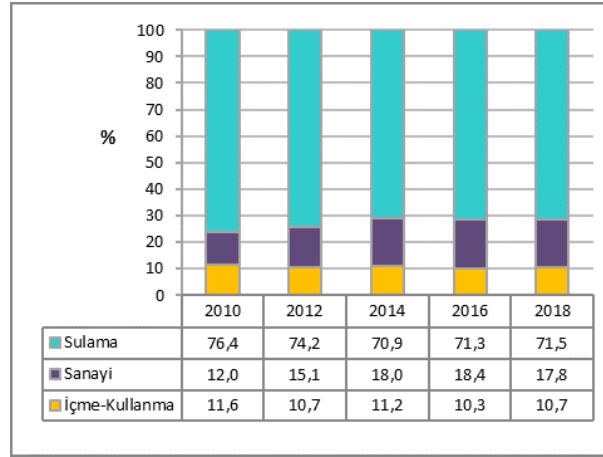
Yıllar	Su Kaynaklarından Çekilen Su Miktarı (10 ⁹ m ³ /yıl)					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Belediyeler	4,55	4,78	4,94	5,23	5,83	6,19
Köyler	1,22	1,01	1,04	0,43	0,38	0,39
İmalat sanayi işyerleri	1,31	1,56	1,79	2,20	2,12	2,68
Termik santraller	4,54	4,27	6,40	6,53	8,61	7,87
Organize sanayi bölgeleri	0,11	0,11	0,14	0,14	0,15	0,16
Maden işletmeleri	... (*)	0,05	0,11	0,21	0,23	0,24
Sulama	33,77	38,15	41,55	35,85	43,06	43,95
Toplam		49,95	55,96	50,59	60,38	61,48
WEI (%)	-	21,3	23,9	21,6	25,8	26,3

(*) Bilgi yoktur.

Su kullanım indeksi için %20 değeri uyarı limitidir ve bunun üzerinde ise kıtlık olduğunu, %40’ın üzerinde ise şiddetli kıtlık ve su yönetiminin sürdürülebilir olmadığını ifade eder [1]. Tablo 1’deki değerlere göre Türkiye’de su kıtlığının söz konusu olduğu ve su kaynakları yönetiminde önlemler alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Gerekli önlemleri almak için çalışmalara tüketimin en fazla olduğu kullanımlardan başlanması gerektiği açıktır. Bu durumda öncelikle dünyada ve Türkiye’deki su kaynakları ve bunların kullanım oranları incelenmelidir. Şekil 1’de Türkiye’de 2010 – 2018 yılları arasında sektörlere göre su kullanım miktarları görülmektedir. 2010’dan 2018’e gelindiğinde sanayinin payı %12’den yaklaşık %18’lere yükselse de, sulamanın %70’in altına düşmeyen payı diğer kullanımlardan çok daha yüksektir.

Dolayısıyla sulama amaçlı su tüketiminde gerek sulama yöntemlerinin iyileştirilmesi, gerekse alternatif kaynaklara yönelme ile su kullanım indeksinde önemli aşamalar kaydedilebileceği görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye’de sektörlere göre su kullanım miktarları [2]

Türkiye’de üretilen tarımsal ürünlere bakıldığında, ağırlıklı olarak buğday, şeker pancarı, arpa, patates, pamuk, ayçiçeği ve mısır yetiştirildiği görülmektedir. Bu ürünlerin yetiştirilmesinde büyük miktarda suya ihtiyaç vardır [3]. Su sıkıntısı yaşanan havzalarda, iklimi elverişli olmayan bölgelerde yüksek miktarda sulama gerektiren ürünlerin yetiştirilmesi su varlıklarının yok olmasına neden olup, uzun vadede üretime zarar vermektedir ve su kıtlığı ile ürün verimi düşerken bu havzalarda kırsal göç başlamaktadır.

2020 yılı verilerine göre Türkiye’deki toplam 37,75 milyon hektarlık tarım arazisinin 15.62 milyon hektarı ekili, 3,17 hektarı nadastadır. Geri kalan alanlar ise sebze, süs bitkileri, meyve-baharat bahçeleri ve çayır-mera arazilerinden oluşmaktadır [4]. Devlet Su İşleri (DSİ)’nin 2019 yılı verilerine göre, sulamalı tarım yapılan alanların %61,6’sında salma sulama, %21,5’inde yağmurlama ve %16,9’unda ise tasarruflu bir yöntem olan damla sulama olmak üzere, DSİ’ce geliştirilen sulamalarla sulanan toplam tarım arazisi 1,66 milyon hektardır [5]. Tarımda tasarruflu sulama sistemlerinin kullanılması su kaybının önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Tablo 1’de sulama dışındaki kullanımların toplamına bakıldığında 2018 yılında 17,5 milyar m³ olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, bu suyun %56,2’si denizlerden, %15,1’i barajlardan, %14’ü kuyulardan, %8,7’si kaynaklardan, %3,9’u akarsulardan, %1,8’i göl/göletlerden, %0,2’si ise diğer su kaynaklarından çekilmiştir [6]. Sulama dışındaki su kullanım ve buna karşılık deşarj edilen atıksu miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kaynaklardan çekilen su ve doğrudan alıcı ortama deşarj edilen atıksu miktarları, 2018 [3]

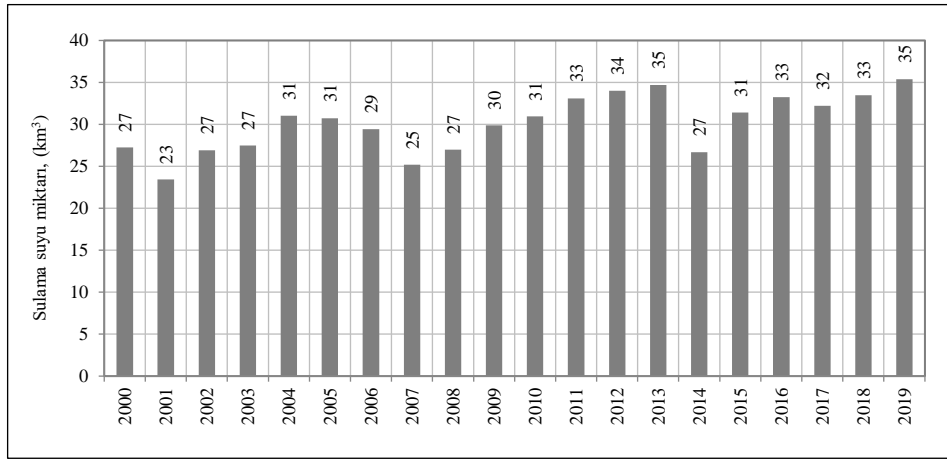
Su kullanım alanı	Çekilen su miktarı, (10 ³ m ³)	Deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç artırılarak deşarj edilen atıksu oranı, (%)
Belediyeler	6 190 224	4 548 657	4 548 657	88,4
Köyler	394 824	123 117	123 117	19,9
İmalat sanayi işyerleri	2 675 606	2 165 373	209 771	85,8
Termik santraller	7 867 738	7 527 047	257 477	3,8
Organize sanayi bölgeleri *	159 469	235 651	235 651	98,7
Maden işletmeleri	240 928	159 613	159 613	4,6
Toplam	17 528 789	14 759 458	5 534 286	80,9

* Organize sanayi bölgeleri (OSB) tarafından deşarj edilen atıksuyun çekilen sudan fazla olması, suyunu kendi imkanları ile temin eden işyerlerinin atıksularını OSB kanalizasyon şebekesine deşarj etmelerinden kaynaklanmaktadır.

Doğrudan alıcı ortamlara deşarjların %77,4’ü denizlere, %18,7’si akarsulara, %1,1’i barajlara, %0,9’u fosseptiklere, %0,5’i göl/göletlere, %0,2’si araziye, %1,2’si ise diğer alıcı ortamlara yapılmıştır [6]. Dolayısıyla, artırılmış atıksuların dörtte üçünden yani 4 milyar m³’ten fazlasının doğrudan veya dolaylı yararlanma imkanı değerlendirilmeden

denizlere deşarj edildiği görölmektedir. Buna karşılık Şekil 2’de yüzeysel sulardan karşılanan sulama suyu miktarının yıllık 30 – 35 milyar m³ aralığında değiştii görölmektedir [7]. Bu durumda, artırılmış atıksuların sulama için miktar açısından önemli bir alternatif kaynak olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, artırılmış atıksuların sulama açısından kalitesi ve uygunluğu da çok önemlidir ve değerlendirilmesi gerekir. Özellikle evsel/kentsel nitelikteki atıksular içerisinde çok sayıda patojen mikroorganizma bulundurmasından dolayı her ne kadar fiziksel ve kimyasal kirleticiler açısından verimli bir şekilde artılsa da tarımsal alanda dikkatli kullanılmalıdır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun belli standartlara getirilmesi ve belli parametrelerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Aksi taktirde, her ne kadar atıksu içeriğindeki yararlı mikroorganizmalar ve nutrientler toprak kalitesi ve gübre gereksinimi açısından faydalı olsa da, patojen mikroorganizmalar çoğalıp, hastalıkların yayılması açısından tehlike oluşturabilir [8].



Şekil 2. 2000-2019 yıllarında Türkiye genelinde sulamada kullanılan toplam yüzeysel su miktarları (km³) [4]

Bu çalışmanın amacı artırılmış atıksuların tarımda kullanım açısından uygunluğunun ve insan sağlığı açısından oluşturabileceği risklerin incelenmesi ve değerlendirilmesi, çözüm önerileri getirilmesidir. Bu amaçla yapılan literatür araştırmalarından yararlanılarak ve “*What If?*” yöntemi kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma, literatür bilgileri kullanılarak artırılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanımının doğurabileceği risklerin tespitini ve değerlendirmesini amaçlanmaktadır. Bu kapsamda yapılacak olan risk analizinde, riskin değerlendirmesi yapılmadan önce risk etmenine ait tüm veriler belirlenmiştir. Tehlike faktörlerinin tanımlaması yapılmıştır. Belirli bir risk analiz yöntemi seçilip, sorunlar tespit edilip, problemlerin azaltılması konusunda tavsiyeler ve önlemler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada risk değerlendirmesinde *What If?* yöntemi uygulanmıştır. Riskin her aşamasında uygulanabilecek bir metottur. Bu yöntem, “Olursa ne olur?” sorusu sorularak aksaklıkların ve muhtemel sonuçların her durum için kıyaslamasının yapılmasına dayanmaktadır. Genel olarak “Olursa ne olur?” sorusuna verilen cevaplara göre sonuç ve tavsiyelerin verilmesiyle sonuçlanan bir çalışmadır. Etkilenen canlıların kim olduğuna değinilmektedir. Mevcuttaki kontrollerin neler olduğu ve konu ile alakalı olarak yapılabilecek çalışmaların tümünü kapsamaktadır.

What If? yöntemi, sorunu ve sorundan kimlerin etkilendiğini tespit etmeyi ve sorunlara yönelik önlemlerin ve önerilerin neler olabileceğini belirlemeyi sağlamaktadır. Söz konusu yöntem aynı zamanda var olan potansiyel tehlikelerin tespit edilme olasılığını yükseltmektedir.

What If? yöntemi, genellikle iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında çalışma ortamlarındaki riskleri tespit ederek bunları gözden geçirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir [9]. Bu çalışmada ise arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımından kaynaklı risklerin insan sağlığına olan etkilerini belirlemek için adapte edilmiştir. Öncelikle “Olursa ne olur?” sorusuna cevaplar aranmış, ardından bu sonuçtan etkilenen grup veya kişiler belirlenmiştir. Son olarak da muhtemel risklere karşı alınabilecek önlemler ve öneriler belirlenmiştir.

Risk analizi çalışmalarında genel olarak risk faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

Risk = Tehdidin olma ihtimali x Tehdidin etkisi [9]

Bu tanıma uygun olarak, bu çalışmadan örnek verilecek olursa;

Risk = Atıksuyun içerebileceği patojen mikroorganizmalar.

Tehdidin Etkisi = Arıtılmış atıksuyun tarımda kullanılmasına bağlı olarak patojenlerin insan sağlığına etkileri.

Tehdidin olma ihtimali = Kaynak varlığı, sosyal ve tarımsal etkiler, kullanım sıklığı vs.

3. Bulgular

Temiz su kaynakları, kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde nüfusun da artmasıyla birlikte azalmaktadır. Kentsel nüfusun artmasıyla atıksu oluşumu da artmaktadır. Su kirliliğinin önlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik günümüzün en önemli konularındandır. Atıksuların uygun yöntemler ile arıtılması veya yeniden kullanıma uygun hale getirilmesi iyi kalitedeki suların korunması için önem arz etmektedir. Uygun arıtma yöntemleri kullanıldığında atıksular tarımsal amaçlar için güvenli şekilde kullanılabilir.

Tarımsal kullanılan su tüketim miktarı bölgelere göre farklılık göstermektedir. Yağışı fazla olan yerlerde sulama miktarı da düşmektedir. Su tüketiminin yüksek olduğu ülkelere bakıldığında ise sıcak ve kurak iklim bölgeleri olduğu gözlemlenmektedir.

Atıksuyun tarımsal kullanımındaki avantajları şunlardır:

- İçeriğindeki nütrientler sayesinde (azot, fosfor) gübre gereksinimi azalmaktadır. Ekonomik bir yöntem olduğu kadar bitki gelişimi ve üretim için önemlidir.
- Su kıtlığının önlenmesinde kaliteli su kaynaklarının azalmasının önüne geçilmesinde büyük rol oynamaktadır.
- Atıksu oluşumu dönemsel olmadığı, sürekliliği olan bir döngü olduğu için özellikle kurak bölgelerde daimi ve güvenilir bir yöntem olmaktadır.
- Yeraltı ve yerüstü temiz su kaynaklarının korunarak içme suyu olarak kullanılmasında önemli rolü vardır.
- Atıksu içeriğindeki birincil ve ikincil arıtma yöntemleri ile giderilemeyen nütrientlerin sulamada yeniden kullanımı ile üçüncül arıtma görevini üstlenmesi ve alıcı su ortamlarında ötrofikasyonun önlenmesine önemli katkısı olmaktadır.
- Bitki yetiştiriciliğinde yararlı mikroorganizmalar sayesinde metabolik faaliyetlerin artmasını sağlaması.
- Kurak mevsimlerde alternatif su kaynağı olmaktadır [10].

Tüm bu avantajlarının yanında atıksuyun uygun arıtma yöntemleri kullanılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde tarımsal üretimde kullanılması hem insan sağlığı, hem de toprak ve ürün kalitesi açısından sorunlar yaratabilir. Arıtılmış atıksuyun kullanılmasındaki dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Atıksuyun içerdiği bazı maddeler bitkiler veya insanlar için zararlı etkilere yol açabilir.
- Atıksu içerisindeki patojen mikroorganizmaların sulama ile bitkilere geçmesi ve bu bitkileri insanların tüketmesi ile insan sağlığını tehlikeye sokması.
- Tarımsal sulama bitkinin su ihtiyacına göre ve iklim değişikliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle atıksuların sulamada kullanılması bitkinin büyüme dönemleri ile sınırlı olduğu için, sulama

ihtiyacının olmadığı dönemlerde diğer bir deşarj imkanının sağlanması veya arıtılmış atıksuların depolanması gerekmektedir.

- Arıtılmış atıksu içerdiği bileşenler nedeni ile sulama sistemlerine zarar verebilmektedir [11].

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanıma uygunluğu 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nde tanımlanan kriterler ile değerlendirilmektedir. Tebliğe göre kentsel atıksular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise biyolojik arıtma sonrası iyi dezenfeksiyon gereklidir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım söz konusu olduğunda ise membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi daha ileri arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekebilir [12]. Tebliğde arıtılmış atıksuların sulamaya uygunluğu değerlendirilirken öncelikle göz önünde bulundurulması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı [12]

Tüm bu özellikler kapsamında, arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasının doğurabileceği riskler ve bunlardan kimlerin etkilenebileceği, ne gibi önlemler alınabileceği *What If?* yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Artırılmış atıksuyun içeriğinde bakteriler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Etkisi canlılar ve insanlar üzerinde çok kısa sürede ortaya çıkmaktadır. Tifoid ateş, paratifoid ateş, basilli dizanteri, kolera, tüberküloz, ishal gibi hastalıklara neden olmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinden ancak dezenfeksiyon, filtrasyon ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa/orta sürededir.
Artırılmış atıksuyun içinde virüsler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Çocuk felci, bulaşıcı hepatit, ishal, solunum hastalığı, kusma, kalp kası iltihabı, menenjit, beyin iltihabı, döküntü, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır. Etkileri yine kısa sürede ortaya çıkmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinden ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları orta sürededir.
Artırılmış atıksuyun içinde protozoalar (tek hücreliler) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Amipli dizanteri, ishal, bağırsak hastalıkları, ağır enfeksiyon, sinir hastalıkları gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinden ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz, ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa sürededir.
Artırılmış atıksu içerisinde helmintler (parazitik solucanlar) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Parazitik enfeksiyon, ince bağırsak enfeksiyonu, anemi, paraziter bulaşıcı hastalıklar, ishal, karın ağrısı, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinden ancak dezenfeksiyon yöntemi ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları uzun süredir.
Tuzluluk oranı fazla olursa ne olur?	Tuzluluk genel olarak toprak geçirgenliği, ürün gelişimi ve kalitesi açısından önemlidir. Tuzluluğun fazla olması ile bitkilerin su alma özellikleri azalmaktadır. Toprakta tuzun birikmesi bitkiler üzerinde toksik etki yapar, büyüme yavaşlar ve bitki kalitesi düşer. Bitki kalitesinin düşmesiyle insanlar açısından besin değeri de düşmektedir. Bu da insanlar üzerinde demir eksikliği gibi vs. etkiler doğurmaktadır.	Tüketiciler	Topraktaki tuzluluk oranının fazla olması bitki gelişimini etkilemesinden dolayı, tuzluluk dayanımları yüksek bitkilerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Katyon değişimi veya ters osmoz gibi yöntemlerle giderimi mümkün olabilmektedir. Ancak bu yöntemler sulama suyu için ekonomik olmadığından tercih edilmez. Atıksu arıtma tesisi çıkışı tatlı su ile karıştırılarak kullanılabilir.	
Atıksu içeriğinde ağır metaller ve toksik elementler fazla olursa ne olur?	Ağır metallerin özelliklerine ve canlılar üzerinde birikimlerine bağlı olarak; kanser hastalığı, sinir sistemine etkileri gibi hastalıklar görülmektedir.	Tüketiciler	Ağır metaller yaygın arıtma prosesleriyle kolaylıkla giderilebilmektedir. Uygun arıtma yöntemleri seçildiğinde ciddi bir sorun teşkil etmemektedir. İleri arıtma sistemleri (mebran vb.) ile de giderilebilir.	Zaman içerisinde toprakta birikir ve sulama ile bitki bünyesine alınmaktadır. Genellikle atıksulardaki kimyasalların ağır metallerin kaynağını endüstriyel atıksular oluşturmaktadır. Tekrarlanan tüketim, sebze ve meyvelerin yenmesi vs. yolu ile oluşmaktadır.
Atıksu içeriğinde AKM miktarı fazla olursa ne olur?	Atıksu içeriğindeki AKM miktarının fazla olması ile birlikte sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açabileceği gibi sudaki organik kirletici yükünü artırmadan dolayı bitkilere ve buradan da insanlara etki etmektedir. İnsanlarda bağışıklık sisteminin bozulması, ishal vs. gibi hastalıklara neden olabilmektedir.	Tarım işçileri, Tüketiciler	Sulama suyu kriterlerinde AKM konsantrasyonu 30 mg/L olarak belirlenmiştir. İkincil arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri gibi uygun arıtma yöntemleri kullanılarak insan sağlığı açısından risk etmeni oluşturmayacak seviyelere indirgenebilmektedir.	Tekrarlanan tüketim, su ile temas, yiyeceklerin tüketilmesi vs. yolu ile oluşmaktadır.

Tablo 2. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Sodyum oranı fazla olursa ne olur?	Sodyum oranının yüksek olduğu topraklarda, topraklar kuruyup çatlar. Bu da sulama yapıldığında bile suyun ürüne ulaşmasını engellemektedir ve bitki kalitesi düşmektedir. Yüksek sodyum değeri yüksek tuzluluk işaretidir. Bu da insan vücudu için alınması gereken parametrelerin düşük oranda olması demektir. İnsanlarda kalsiyum, demir eksikliğine bağlı olarak gözlenen hastalık riskleri oluşmaktadır.	Tüketiciler	Yüksek sodyum oranı aynı zamanda yüksek tuzluluk belirtisi olduğundan tuzluluk gideriminde kullanılan yöntemler aynı şekilde yüksek sodyum oranlarında da tercih edilebilmektedir.	
pH değeri yüksek veya düşük olursa ne olur?	Tarımsal sulama sularında sudaki pH değerinin çok düşük veya çok yüksek olması toprak kalitesini ve dolayısıyla bitki kalitesi ve ürün gelişimini de etkileyeceğinden, bu ürünleri tüketen insanların sağlığı açısından risk etkilerini doğurmaktadır.	Tüketiciler	Tarımsal sulamalarda istenilen pH aralığı (6,5-8) aralığındadır.	
Sulama yöntemi değişkenliği olursa ne olur?	Sulama yöntemlerinin uygulanması da risk faktörleri oluşturmaktadır. Örneğin yağmurlama ile sulama yapılması durumunda, yakın çevrede yaşayan insanlara veya tarım işçileri üzerinde etkileri olabilmektedir.	Tarım işçileri, yakın çevrede yaşayan insanlar	Uygulamanın yapılması aşamasında tampon bölgeler oluşturularak önüne geçilebilir.	Bölgenin iklim ve toprak özelliklerine göre ve yetiştirilecek bitki çeşidine bağlı olarak sulama yöntemini doğru seçmek oldukça önemlidir.
Artırılmış atıksuyun uzun süre kullanımında toprak kalitesine olan etkileri ne olur?	Artırılmış atıksuya uzun süre maruz kalan topraklarda yüksek miktarda tuzlanma görülmüştür.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler	Su sıkıntılı yıllarda veya sezonlarda belirli bir süre bile olsa bu suların iyi kalitedeki sular ile birleştirilerek kullanılması gerekmektedir. Temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde ise toprak bünyesindeki tuzluluk potansiyeli dikkate alınarak kontrollü uygulama yapılmalıdır.	
Sıcaklığın azalması ile artırılmış atıksu sağlık riskleri üzerinde olan etkileri ne olur?	Artırılmış atıksuyun uzun süre düşük sıcaklıklara maruz kalması ile birlikte atıksu içeriğindeki bakterilerin (patojenik mikroorganizmaların) hayatta kalma süresini uzatacaktır. Kış aylarında bakterilerin hayatta kalma süreleri yaz aylarına göre daha uzundur.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler, yakın çevre yaşayan halk	Bakteriler atıksu içeriğinden dezenfeksiyon, filtrasyon veya oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir. Kış aylarında patojenik mikroorganizmaların hayatta kalma süreleri uzun olduğundan sebze meyve tüketimi çiğ yapılmamalıdır. Tarım işçileri ve çiftçilerin temas ve solunum yolu ile oluşması riskleri için kişisel koruyucularla önlemler alınmalıdır.	
Atıksuyun etrafa sıçırması etkisi ne olur?	Atıksuların toprağa sıçraması ile verimlilikte artış yaşandığı görülmüştür. Çalışanlarla temasında ise bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkması ve yaygınlaşması tespit edilmiştir.	Tesis çalışanları	Atıksu tesislerinde çalışan bireylerin kişisel koruyucu ekipmanları kullanmaları gerekmektedir. Atıksuların biriktirileceği havza iyi seçilmeli ve bu konuda dikkatli olunmalıdır.	Atıksuların artırılması amacıyla kurulan tesislerin verimli toprak arazilerinden uzakta inşa edilmeleri gerekmektedir.
Atıksuların artırımında sorun yaşanmasının etkisi ne olur?	Hem çalışanlar, hem hayvanlar, hem de çevrede yaşayan halk açısından önemli bir sağlık sorunu teşkil etmektedir. Bulaşıcı hastalıkların yaygınlaştığı ve buna bağlı olarak ölümlerin yaşandığı saptanmıştır.	Tesis çalışanları, yakın çevrede yaşayan halk.	Çalışanların kişisel koruyucu ekipman kullanımını aksatmaması gerekmektedir.	
Atıksular bulaşıcı hastalıklar taşırsa suyun kullanımını açısından ne olur?	Hem insanları, hem de hayvanları tehdit eden vahim sonuçlara yol açabilir. Mikroorganizmalar ve bakterilerde artış yaşandığı görülmüştür.	Tesis çalışanları, tüketiciler, çiftçiler, yakın çevrede yaşayan halk.	Tarımsal sulama amacıyla kullanılacak sulardaki bakteri durumu tespit edilmeden, toprağa ve bitkiye aktarılmamalıdır.	

Tablo 2. Artırılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

<i>What If? (Olursa Ne Olur?)</i>	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Atıksulardan kaynaklı koku riski oluşursa ne olur?	Atıksu kaynaklı kötü kokunun etrafa yayılması önemli ve ciddi bir çevre sorunudur.	Tesis çalışanları ve çevre yaşayan halk	Tesis çalışanlarının maske kullanımını ihmal etmemesi gerekir. Koku gidericiler kullanılmalıdır. Uygulama yöntemi ise temiz su içerisine karıştırılarak elde edilen solüsyon haline getirilmiş kimyasal artırılmış atıksuya doğrudan ya da dozaj pompası ile uygulanabilir.	
Atıksular arıtılırken açığa çıkabilen gazların çevreye etkisi ne olur?	Atıksularda hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak ve metan gibi gazların bulunması zehirlenmelere ve boğulmalara neden olabilmektedir. ,	Tesis çalışanları, çevre yaşayan halk ve bölge yaşayanlar	Maske kullanımı ihmal edilmemelidir. Gaz seviyeleri ölçülerek izlenmelidir. Geniş kitleyi etkileyecek derecede önemli gaz sorunlarında gerekirse bölge halkı da bu konuda bilgilendirilmelidir.	
Artırılmış atıksuların içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa insan sağlığına etkisi ne olur?	Amerika ve İngiltere başta olmak üzere birçok ülkede artırılmış sular içerisindeki ilaç kalıntılarının yönelik risk değerlendirme raporları hazırlanmıştır. Rapor sonuçlarına göre su içerisinde kalmış ilaç kalıntılarının insan sağlığı üzerinde güçlü denebilecek bir zararı bulunmamaktadır. İngiltere’de Thames nehrinde yapılmış bir çalışmada 13 farklı kanser ilacı içme sularına karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda su ile alınan dozun belirtilen miktarın çok çok altında olduğu ve insan sağlığı açısından risk teşkil etmediği belirtilmiştir. Ancak ilaç kalıntılarının maruz kalmış atıksuyun sürekli kullanımı halinde hamileler, çocuklar, bebekler ve yaşlılar üzerinde ne derecede bir etki yaratacağı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.	Artırılmış ve kalıntılı suya maruz kalan tüm insanlar	İlaç kalıntılarının maruz kalınmaması için ekotoksikite testlerinin yapılması gerekmektedir. Ancak bu test yöntemi uzun sürdüğü ve tekrarlanmaya müsait olmadığı için bakteri testlerinin yapılması daha uygun olmaktadır. Bakteri testleri düşük maliyet ve zaman açısından daha avantajlıdır. Suların analizinin Sıvı Kromatografi /Kütle Spektrometrisine ile yapılması gerekmektedir. Bu test sistemi maliyet, zaman ve çözünürlük açısından daha avantajlıdır. LC/MS/MS gibi yöntemi ile nanogram seviyesinde ölçümler yapılabilmekte ve düşük kalıntılar dahi tespit edilebilmektedir.	
Artırılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa bitki, hayvanlar ve çevre üzerindeki etkisi ne olur?	Atıksular içerisindeki ilaç kalıntılarının farklı yöntemlerle ölçülmesi gerekmektedir. Bazı araştırmalara göre ilaç kalıntı oranı belirli seviyenin altında olur ise çevreye bir zararı bulunmamaktadır.	Hayvanlar, bitkiler ve çevre	Elektrosprey sıralı kütle spektrometresi, sıvı kromatografisi (LC), LC kütle spektrometresi, SPE, HPLC, Diod-array UV detektörü, Silika kartuş temizleme, LC-Elektrosprey sıralı MS, UV-Diod-Sıralı tespit ve elektroforez gibi çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ile ilaç kalıntıları çözümlenmeli ve kullanım durumu ona göre belirlenmelidir.	
Artırılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa, bu kalıntıların tarıma ve tarım toprağına etkisi ne olur?	Toprağına zararı dokunabilecek olan ilaç kalıntılı atıksular, ürünlerle insanlara ulaşabilmektedir. İlaç kalıntılı atıksular incelendiğinde genellikle antibiyotik, analjezikler ve östrojenlerin varlığı gözlemlenmiştir. Söz konusu kalıntıların toprağına zarar verdiği ve ürünlerin yapısının bozulduğu gözlemlenmiştir.	Toprak, insanlar, hayvanlar, bitkiler	Atıksuların ileri yöntemler ile artırılması ve ilaç kalıntılarının belirli bir seviyenin altında olup olmadığının gözlemlenmesi gerekmektedir.	

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun sonucunda insan sağlığına olan etkileri ve riskleri değerlendirilmiştir. Dünyada ve Türkiye’de su tüketimi her geçen gün artarken, su kaynakları miktar ve kalite açısından kayba uğramaktadır. Bu nedenle kaynakların korunması ve tüketimin azaltılmasına yönelik önlemlerin alınması zorunludur. Dünyada ve Türkiye’deki sektörel bazlı su kullanım oranlarına bakıldığında, en çok su tüketiminin tarım sektöründe olduğu görülmektedir. Bu yüzden tatlı su kaynaklarının ve yeraltı yerüstü su kaynaklarının korunması adına arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük fayda sağlayabilir. Bununla birlikte, uygulama ve ekonomik yönden avantajlarına rağmen Avrupa ülkelerinin ortalamasına bakıldığında arıtılmış atıksuların sadece %2,4’ünün tekrar kullanıldığı görülmektedir [13].

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması su kaynaklarının korunması önemli avantajlar sağlarken aynı zamanda bitkilerin yararlı mikroorganizmalar ve nütrientler sayesinde gübre gereksinimlerinin karşılanarak, gelişimlerinde de olumlu etkiler yapabilmektedir. Ancak her uygulamada olduğu gibi arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasının da bazı riskleri ve dezavantajları bulunmaktadır. Uzun süre kullanımlarında toprağa olan etkileri, içerebileceği hastalık yapıcı mikroorganizmaların insan sağlığına olan etkileri, arıtmada kullanılan yöntemlerin ekonomik boyutları gibi bazı dezavantajları saymak mümkündür.

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasına bağlı riskler belirlenmiş, daha sonra da belirlenen risklerin insan sağlığına olabilecek etkilerini incelenmiştir. İnsan sağlığı üzerinde patojen organizmaların, ağır metallerin, kimyasalların ve diğer yan etkilerin ne gibi etkiler yaratabileceği bu güne kadar yapılan çalışmalardan yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Arıtılmış atıksuların tarımda güvenli kullanımı teşvik amacıyla yayınlanan çeşitli rehberler [14, 15] özellikle patojen organizmaların azaltılmasını insan sağlığı açısından ön plana çıkarırken, kimyasallardan kaynaklı riskler çok daha düşük oranda dikkate alınmıştır [16]. Bu konuda yapılan mevcut çalışmalar konunun boyutlarının anlaşılabilmesi açısından çok sınırlı kalmaktadır [17]. Özellikle kimyasal kalıcı kimyasal maddelerin etkilerinin daha yoğun şekilde araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanımında özellikle insan sağlığı ve bununla birlikte toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılması için gerek atıksu özellikleri, gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

S.C.: Literatür araştırması, veri toplanması, yöntem seçimi ve uygulaması, H.D.: Literatür araştırması, makale yazımı ve düzenleme.

6. Kaynaklar

- [1] European Commission, Eurostat, Product Datasets, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/t2020_rd220
- [2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Göstergeler, Su Kullanımı, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738>
- [3] Özçağlar, A., “Türkiye’deki Tarım Alanlarının Coğrafi Dağılımının Doğal Çevreyle İlişkisi” *Ankara Üniversitesi DTCF Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 11, 131-150, 1988
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), İstatistik Veri Portalı, Tarım Alanları, 17 Şubat 2021

- [5] DSİ, 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, DSİ'ce Geliştirilen Sulamalarda Uygulanan Sulama Yöntemleri, 2018-2019, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
- [6] TÜİK, Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri, 2018, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sektorel-Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2018-30673>
- [7] DSİ 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Yüzey Suyu Miktarı, 2000-2019, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
- [8] Demir Ö., Yıldız M., Sercan Ü., Arzum C. Ş., “Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması” *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2, 2, 1-14, 2017
- [9] American Chemical Society, “Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories” Guidelines developed by the Hazard Identification and Evaluation Task Force of the American Chemical Society’s Committee on Chemical Safety, 147 s, 2015
- [10] Saraoğlu, E., “Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanımı – Ülkemizden ve Dünyadan Başarılı Örnekler ve Türkiye İçin Uygulama Önerileri” T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Uzmanlık Tezi*, 115 s, Ankara, 2014
- [11] Duman, H., “Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği” Orman ve Su İşleri Bakanlığı, *Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi*, 114 s, Ankara, 2017
- [12] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, RG Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527
- [13] Saliba R., Callieris R., D’Agostino D., Roma R., Scardigno A., “Stakeholders’ attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture”, *Agricultural Water Management*, 204, 60-68, 2018, DOI: doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.036
- [14] WHO, “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture”, <https://www.who.int/publications/i/item/9241546859>, 2006, (Erişim tarihi: 10.08.2021)
- [15] EC, “Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse” (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&qid=1628604401791&from=EN>), 2020 (Erişim tarihi: 10.08.2021).
- [16] Gardner M., Jones V., Comber S., Scrimshaw M. D., Coello-Garcia T., Cartmell E., Lester J., Ellor B., “Performance of UK wastewater treatment works with respect to trace contaminants”. *Science of the Total Environment*, 456–457, 359–369, 2013
- [17] Revitt D. M., Lundy L., Fatta-Kassinos D., “Development of a qualitative approach to assessing risks associated with the use of treated wastewater in agricultural irrigation”, *Journal of Hazardous Materials*, 406, 1-9, 2021, DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124286