



İkincil arıtılmış kentsel atıksulardaki azot ve fosforun toprak-akifer arıtma sistemi kullanılarak giderilmesinde toprak tiplerinin etkisi

The effect of soil types on nitrogen and phosphorus removal from secondary treated municipal wastewater by using soil-aquifer treatment system

Mesut AK^{1*}, İlayda TOP²

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

mesuta@pau.edu.tr

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli Türkiye.

ilayda468@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 28.07.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 19.10.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.99491

Kabul Tarihi/Accepted: 01.11.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada farklı iki tip toprak kullanılarak hazırlanmış laboratuvar ölçekli bir toprak-akifer arıtma sistemi ile ikincil arıtılmış atıksulardaki azot ve fosforun toprak derinliği boyunca giderim verimi ve toprak tiplerinin arıtma verimine etkisi araştırılmıştır. Killi tınlı toprak (KTT) ve tınlı toprak (TT) ile doldurulmuş kolonlarda besleme atıksuyu olarak Denizli İli (Türkiye) kentsel atıksu arıtma tesisi çıkışından alınmış ikincil arıtılmış kentsel atıksu kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında kolonlara takılmış farklı derinliklerdeki vanalardan alınan süzüntü numunelerinde toplam-N, toplam-P, çözülmüş oksijen, pH ve sıcaklık parametreleri ölçülmüştür. 75 cm derinliğindeki son vanalardan alınan süzüntü numunelerinde KTT'de toplam-N %50.85, toplam-P %97.07 oranında giderilirken TT'de bu değerler sırasıyla %36.72 ve %64.43 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, her iki toprak tipinde de toplam-N ve toplam-P giderimi için ilk 10 cm oldukça etkili olmuştur. Çalışma sonucunda TT'nin hem toplam-N hem de toplam-P gideriminde KTT'ye göre daha az etkili olduğu, her iki toprakta da derinlik arttıkça giderim veriminin de arttığı ve deneysel çalışmalar süresince giderim verimlerinde zamana bağlı herhangi bir azalmanın olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Toprak-akifer arıtma sistemi, Yönetilen akifer şarjı, Azot ve fosfor giderimi, Atıksu arıtımı, Doğal arıtma

Abstract

In this study, the removal efficiency of nitrogen and phosphorus in secondary treated wastewaters with a laboratory scale soil-aquifer treatment system prepared using two different types of soils and the effect of soil types on treatment efficiency were investigated. In the columns filled with clayey loam soil (CLS) and loamy soil (LS), secondary treated municipal wastewater taken from the effluent of Denizli province (Turkey) municipal wastewater treatment plant was used as feed wastewater. During the experimental studies, the total-N, total-P, dissolved oxygen, pH and temperature parameters were measured in the permeate samples taken from the valves at different depths attached to the columns. In the permeate samples taken from the last valves at a depth of 75 cm, total-N was 50.85% and total-P 97.07% in CLS, while these values were calculated as 36.72% and 64.43% in LS, respectively. In addition, the first 10 cm was highly effective for total-N and total-P removal in both soil types. Consequently, It was observed that TT was less effective than KTT in both total-N and total-P removal, the removal efficiency increased as the depth increased in both soils, and there was no time-dependent decrease in the removal efficiency during the experimental studies.

Keywords: Soil-aquifer treatment system, Managed aquifer recharge, Nitrogen and phosphorus removal, Wastewater treatment, Natural treatment

1 Giriş

Su canlı hayatı için vazgeçilmezdir. Hızlı nüfus artışı ve kentleşme ile birlikte artan yaşam standartları suya olan talebin sürekli artmasına neden olmaktadır. Suyun hem eksikliği hem de kalitesinin azlığı her türlü kullanım alanı için sadece dünyanın kurak bölgelerinde değil, suyun bol bulunduğu bölgelerde de önemli sorunlara neden olmaktadır [1]-[5]. Bu nedenle, birçok ülkede arıtılmış atıksuların tarımsal ve rekreasyonel sulamada, azalan yeraltı suyu rezervlerinin beslenmesinde, endüstride ve kentsel farklı alanlarda kullanımı son yıllarda dikkate değer bir alternatif kaynak olarak kabul edilmektedir [6]-[11].

İkincil-biyolojik arıtım atıksulardan organik maddelerin giderilmesinde önemli derecede etkili olsa da azot ve fosforun giderilmesindeki etkisi düşüktür [12],[13].

Sucul ortamlardaki besin maddelerinin ana bileşenleri olan azot ve fosfor yüzey ve yeraltı sularında su kalitesini belirleyen anahtar parametreler arasındadır. Kentsel atıksular ön arıttımdan geçmiş küçük ölçekli endüstriyel atıksuları içermekle birlikte büyük oranda evsel niteliklidir ve içeriğindeki esas olarak antropojenik kökenli olan azot ve fosfor çoğunlukla evsel atıksu kaynaklıdır. Evsel atıksulardaki fosforun büyük kısmı sentetik deterjanlardan kaynaklanırken, azot ve bileşikleri tipik olarak insan atıklarında ve evsel atıksularda bulunan proteinlerin ve ürenin biyolojik olarak parçalanmasından kaynaklanmaktadır [14]-[16].

Sucul ortamlardaki mikroorganizmaların aşırı büyümesinin birincil nedeninin besin maddelerinin bolluğu olduğu düşünüldüğünde, yüzey sularında fazla miktarda azot ve fosforun bulunması, çoğunlukla alg patlamaları ve azalan çözülmüş oksijen ve yüksek bulanıklık seviyelerine, bu koşullar da genellikle balık ölümlerine ve arzu edilen flora ve

*Yazışılan yazar/Corresponding author

faunanın azalmasına neden olur. Ayrıca, içme suyu temini amacı ile kullanılan yüzeysel sularındaki bulanıklık arttıkça bu suların dezenfeksiyonu için tüketilen klor miktarı da artar. Bu da oluşabilecek kanserojen dezenfektan yan ürünlerin ortaya çıkma olasılığını artırır [17]-[19].

Bu nedenle ikincil arıtılmış kentsel atıksular (İAKA) tekrar kullanılmadan önce kullanım alanına bağlı olarak ileri bir arıtmaya tabi tutulmalıdır [20],[21].

Kentsel atıksuların arıtıldıktan sonra tekrar kullanılmasında ve yeraltı sularının beslenmesinde dünyada uzun yıllardır kullanılan toprak-akifer arıtma sistemi (TAAS), hem doğal bir ileri arıtma yöntemi hem de köklü bir yönetilen akifer şarjı (YAŞ) tamamlayıcı yöntemidir. TAAS-YAŞ yöntemi ile kalitesi düşük atıksuların yeniden kullanılması ve güvenilir bir kaynağa dönüştürülmesi su kıtlığı sorunlarının üstesinden gelmenin önemli bir yoludur [20],[22]-[31]. TAAS kullanılarak arıtılmış atıksuların en önemli yeniden kullanım alanı ise çoğunlukla tarımsal sulama olmaktadır [32],[33].

Siğ ve geniş filtrasyon havuzlarında depolanan atıksuların yerçekimi ile toprak ortamından dikey yönde süzülmesi sırasında gerçekleşen biyolojik ve fiziko-kimyasal arıtma mekanizmaları (çökme, filtrasyon, iyon değişimi, adsorpsiyon, biyolojik ayrışma ve asimilasyon vb.) ile İAKA'da ileri bir arıtım sağlayan TAAS'nin işletme maliyetinin düşük olması, az personel ihtiyacı, uygulanmasının kolay olması vb. avantajlarından dolayı kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Arıtılmış atıksuların süzülmesi sırasında, çözünmüş organik maddeler, azot, fosfor, ağır metaller, askıda katı maddeler ve patojen mikroorganizmalar büyük ölçüde giderilirken, sızan suyun yeraltı suyuna karışması ile yatay yönde hareketi sırasında da su kalitesinde ilave bir iyileşme sağlanabilmektedir [3],[5],[34]-[43].

Atıksuyun ön arıtım derecesi, toprak tipi, ıslak/kuru döngü aralıkları, yeraltı suyu tabakasının derinliği ve uygulanan hidrolik ve kirlilik yük TAAS verimine etki eden en önemli faktörlerdir. Atıksuyun ön arıtım derecesi filtrasyonda tıkanmalara yol açabilecek kirliliklerin giderilmesi açısından önemlidir [44]. Daha önce yapılan çalışmalar İAKA'nın TAAS için en ideal atıksular olduğunu göstermiştir [45]. Toprak tipi ve özellikleri hem atıksuyun filtrasyonu açısından hem de toprağın organik madde içeriği ve kation değişim kapasitesi (KDK) gibi fiziko-kimyasal özellikleri açısından TAAS veriminde etkilidir [20],[46]. İri taneli toprakta iyi bir filtrasyon sağlanırken kirlenici unsurlar daha az tutulur, ince taneli toprakta ise tam tersidir. Bu nedenle uygun toprak tipinin seçilmesi önemlidir [29],[45],[47]. Toprağın filtrasyon hızının azalmasını önlemek ve azot gideriminde önemli olan nitrifikasyon/denitrifikasyon süreçlerinin sağlanması için TAAS farklı ıslak/kuru döngüler halinde işletilebilir. Islak dönemde filtrasyon havuzu belirli bir atıksu yüksekliğini sağlayacak şekilde beslenir. Islak dönem sırasında filtrasyon havuzunda çökelmeler, toprak ortamı boyunca filtrasyon ve biyolojik aktivitelere bağlı tıkanmalar toprak filtrasyonunu azaltabilir. Suya doymuş toprak ortamının olduğu bu dönemde atmosferden oksijen girişi azalacağı için denitrifikasyon için gerekli redox şartları oluşabilir. Kuru dönemde ise filtrasyon havuzuna atıksu beslemesi yapılmaz, böylece kuruyan toprak gözenekli hale gelir ve hem filtreleme özelliğini tekrar kazanır hem de toprağa atmosferden oksijen girişi sağlanmış olur [4],[35]. Yeraltı suyu tabakasının derinliği atıksuyun kat edeceği mesafeyi ve toprakla temas süresini artırır, bu da

TAAS verimini olumlu etkiler [7],[48]. Atıksuyun kirlilik ve hidrolik yükünün artması ise olumsuz etkiler [13],[40].

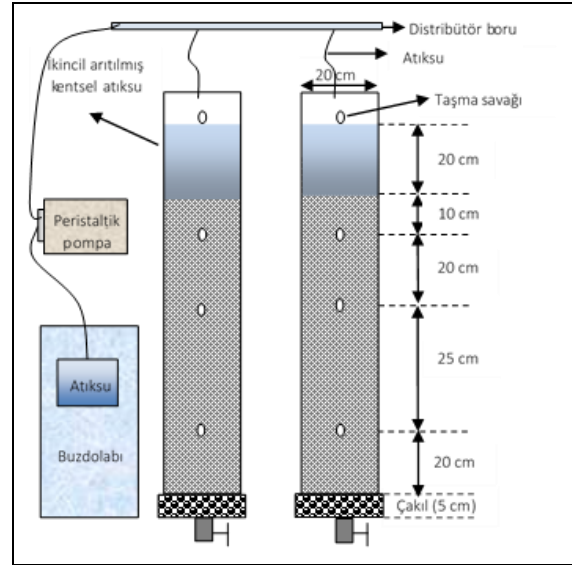
Bu bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada laboratuvar ölçekli TAAS-YAŞ kolonları vasıtasıyla toprak derinliği boyunca İAKA'daki toplam azot (toplam-N) ve toplam fosfor (toplam-P) değişimi iki farklı toprak tipi kullanılarak araştırılmıştır. Literatürde TAAS kullanılarak azot ve fosfor giderimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca bu çalışmalar çoğunlukla infiltrasyon oranları yüksek toprak tipleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada ise infiltrasyon oranları düşük ve birbirine yakın toprak tipleri kullanılarak literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Laboratuvar ölçekli TAAS kurulumu

DeneySEL çalışmalarda kullanılmak üzere her biri 1 m uzunluğunda, içten içe çapı 20 cm olan ve iki adet PVC toprak kolonundan oluşan laboratuvar ölçekli bir TAAS düzeneği tasarlanmıştır. Kolonlar atıksuyun biyolojik bozulmasını engellemek amacı ile buzdolabına konulmuş İAKA ile bir peristaltik pompa kullanılarak beslenmiştir. Haftalık olarak arıtma tesisi çıkışından alınan İAKA'yı kolonlara eşit olarak dağıtmak amacı ile peristaltik pompa bir dağıtıcı boru ile birleştirilmiştir.

Buzdolabından kolonlara peristaltik pompa ile çok düşük debide besleme yapıldığı için atıksu peristaltik pompa borusu ve distribütör boru içerisinden geçerken ortam sıcaklığına gelmektedir. Kolonlardaki numune alma derinliklerini de gösteren laboratuvar-ölçekli TAAS düzeneği Şekil 1'de verilmiştir [49].



Şekil 1. Laboratuvar-ölçekli TAAS düzeneği.

Figure 1. Laboratory-scale soil-aquifer treatment system setup.

Süzüntü sularını toplamak amacı ile kolonlara 10, 30, 55 ve 75 cm derinliklerde vanalar ilave edilmiştir. Ayrıca kolonların tıkanmasını engellemek için öncelikle kolonların tabanları 5 cm kadar iri taneli çakıl parçaları kullanılarak doldurulmuş, sonra her bir kolon ilk numune alma noktasının 10 cm üstüne kadar çalışmada kullanılan iki farklı tip toprak ile doldurulmuştur. Bu sayede kolonlar ıslak döngü boyunca beslenirken 20 cm atıksu yüksekliği stabil olarak sağlanmış, fazla gelen su taşma savağı vasıtası ile kolonlardan tahliye edilmiştir. Islak döngünün ilk

günü ile son günü arasında toprakta infiltrasyon hızı değişiklik gösterdiği için TAAS için literatürde daha önce yapılan çalışmalar doğrultusunda sabit su yüksekliğini sağlamak esas alınmıştır. 20 cm yüksekliğindeki atıksu ıslak döngü süresince yerçekimi ivmesi ile kolonlardan filtrelenerek farklı derinliklerde farklı ilave arıtmalara uğramıştır. Süzüntü numuneleri biyolojik ya da kimyasal bir bozulmaya maruz kalmamaları için atmosferle temasları kesilecek şekilde vanalardan toplanmış, analizleri bekletilmeden yapılmıştır.

2.2 TAAS işletim şartları

Deneysel çalışmalara başlamadan önce toprağın yapısında bulunan inorganik ve organik içeriğin toprak ortamından uzaklaştırılması için kolonlar bir döngü saf su ile, sonrasında bir döngü de İAKA ile beslenmiş, bu süreçte numune alınmamıştır.

Islak döngü sürecinde toprak filtrasyonunda azalma olacağı için daha önce anlatıldığı gibi TAAS farklı ıslak/kuru döngüler halinde işletilir. Bu çalışmada daha önce TAAS ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alındığında literatürde en çok karşılaşılan döngülerden biri olan 3 gün ıslak/4 gün kuru (3ı/4k) döngüsü kullanılmıştır. Toprak tiplerinin TAAS performansına etkisini belirlemede kullanılan ve farklı derinliklerden alınan süzüntü numuneleri 3 gün devam eden ıslak günlerin sonunda alınmıştır.

Deneysel çalışmalar 2 Kasım 2019 tarihinde başlamış ve 10 döngü (hafta) devam etmiştir.

2.3 Toprak örnekleri ve özellikleri

Çalışmalar sırasında kolonlarda killi tınlı toprak (KTT) ve tınlı toprak (TT) kullanılmıştır. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait uygulamalı çalışma sahalarından alınan toprak örneklerinin analizleri aynı fakülte laboratuvarlarında yapılmış ve elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Kolonlarda 2 mm elekten geçmiş homojen toprak numuneleri kullanılmıştır. Bu amaçla toprak örnekleri kolonlara doldurulmadan önce ufalanabilir hale gelinceye kadar kurutulmuş, sonra 2 mm elekten geçebilecek biçimde taş ile dövülerek parçalanmıştır.

Tablo 1. Çalışmalarda kullanılan toprakların özellikleri.

Table 1. The properties of the soils used in the studies.

Parametre	KTT	TT
pH	7.4	8.4
Kum (%)	26.0	48.2
Silt (%)	37.0	34.3
Kil (%)	37.0	17.5
Organik madde (%)	7.9	1.1
KDK (me/100 g)	19.55	11.78

2.4 İkincil arıtılmış kentsel atıksu örnekleri

TAAS çalışmalarında Denizli Büyükşehir Belediyesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan İAKA kullanılmıştır. Klasik aktif çamur biyolojik arıtımının kullanıldığı tesiste numunelerin alındığı dönem boyunca atıksu arıtma tesisi çıkışında dezenfeksiyon işlemi yapılmamıştır. Tesis hem ilin evsel atıksularını hem de ön arıtıma uğramış endüstri atıksularını arıtmaktadır [50]. İAKA örnekleri her ıslak/kuru döngü öncesi atıksu arıtma tesisi çıkışından alınmıştır. Alınan ham arıtılmış atıksu örneklerinde kolon beslemesi yapılmadan her döngü öncesi takip edilen parametrelerin ölçümleri laboratuvarında yapılmış ve kolon giriş parametre değerleri

olarak kaydedilmiştir. Tablo 2'de kolona girişte kullanılan ham İAKA örneklerinin ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmalarda kullanılan İAKA ortalama değerleri.

Table 2. Average values of secondary treated municipal wastewater used in the studies.

Parametre	Ortalama	Standart sapma
pH	7.93	0.22
Sıcaklık	20.0 °C	0.43
Çözünmüş oksijen	7.3 mg/L	0.67
Toplam azot	37.05 mg/L	11.44
Toplam fosfor	2.92 mg/L	1.05
Kimyasal oksijen ihtiyacı	62.5 mg/L	19.59
Toplam organik karbon	12.58 mg/L	1.65

2.5 Deneysel çalışmalar ve analitik yöntemler

Kolonların farklı derinliklerine monte edilen süzüntü numunelerini toplayan vanalardan alınan numuneler 3 günlük ıslak döngünün son gününde 500 mL kapasiteli ağzı kapaklı plastik şişelere dışarıdan hava girişini engelleyecek şekilde alınmış ve bekletilmeden analizlenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında toplam-N, toplam-P, çözünmüş oksijen (ÇO), pH ve sıcaklık parametreleri düzenli olarak ölçülerek takip edilmiştir.

Toplam-N ve toplam-P analizleri spektrofotometrik olarak Merck marka analiz kitleri (sırasıyla 100613 ve 114543 kodlu) kullanılarak yapılmıştır. Kit analizlerinde WTW CR3200 termoreaktör ve WTW Series Photolab S12 spektrofotometre; ÇO ölçümlerinde WTW Series 730, sıcaklık ve pH ölçümlerinde ise WTW Series 720 cihazları kullanılmıştır. Tüm analizler iki veya üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

3 Bulgular ve değerlendirme

3.1 Kolonların hidrolik özelliği

İki farklı toprak tipi ile 10 döngü devam eden çalışmalar sırasında kolonlardaki filtrasyon oranları numunelerin de alındığı 3ı/4k döngünün sonunda düzenli olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sırasında bazı döngülerde farklı kolonların farklı derinliklerinden vanaların tıkanmasından dolayı süzüntü numuneleri alınmamıştır. Bu derinliklerde takip edilen parametreler ölçülemediği için ölçüm yapılan döngüler dikkate alınarak ortalamalar alınmıştır.

İlk beş döngü için ortalama filtrasyon oranları KTT kolonunda 15 cm/gün, TT kolonunda 19 cm/gün olarak ölçülürken, son beş döngü için ortalama filtrasyon oranları KTT kolonunda 12 cm/gün, TT kolonunda 15 cm/gün'e düşmüştür. Kil içeriği yüksek topraklarda su tutma kapasitesi yüksek olduğu için filtrasyon oranının düşük olması ve her iki toprak tipinde de zamanla toprak suya doymuş hale geldiği için filtrasyonda düşüşün ve tıkanmaların gerçekleşmesi beklenen bir durumdur, bulunan sonuçlar literatür ile uyumludur [4],[29],[46],[47],[51].

3.2 Kolonlarda sıcaklık ve pH değişimi

Çalışmalar laboratuvar ortamında yürütüldüğünden mevsimsel sıcaklık değişimlerinden süzüntü numuneleri etkilenmemiştir. Tüm süzüntü numunelerinde sıcaklık 18-22 °C aralığında değişmiştir.

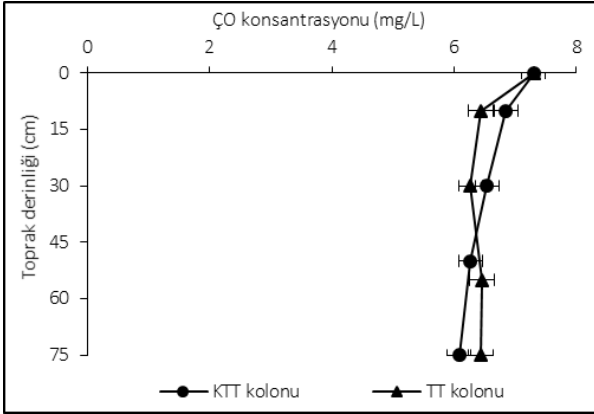
pH değişimlerinde ise gerek toprak tipi gerekse toprak derinliği ile dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir. Deneysel

çalışmalar boyunca giriş ve tüm süzöntü numunelerindeki pH değerleri 7.2-8.4 aralığında ölçülmüştür.

3.3 Kolonlarda çözülmüş oksijen değişimi

Deneysel çalışmalar süresince giriş ve farklı derinliklerden alınan süzöntü numunelerinde ÇO analizleri yapılmıştır. Kolonlarda toprak derinliği ile ÇO konsantrasyonu değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Tüm süzöntü numunelerindeki ÇO konsantrasyonları KTT ve TT kolonlarında sırasıyla 4.04-7.89 ve 5.23-7.55 mg/L aralığında değişmiştir.

Kolonlar boyunca ÇO konsantrasyonu değişimi açısından toprak tipleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Kolonların 10 cm derinliğinden alınan süzöntü numunelerinde ÇO konsantrasyonunun hızlı bir şekilde azalması ortalama 7.30 mg/L giriş değerinden KTT kolonunda 6.84 mg/L'ye, TT kolonunda ise 6.44 mg/L'ye düştüğü, sonrasında derinlik arttıkça ÇO konsantrasyonundaki azalmanın devam ettiği tespit edilmiştir. Toprak ortamının ilk katmanlarındaki ÇO konsantrasyonundaki hızlı azalış organik maddenin varlığına bağlı olarak mikrobiyal faaliyetin fazla olmasıdır. Ayrıca ıslak dönem boyunca atmosferden oksijen geçişi azalacağı için derinlik arttıkça ÇO konsantrasyonunun azalması beklenen bir durumdur. Her iki durum da bu çalışmada elde edilen verilerle uyumlu şekilde literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur [4],[28],[42],[52],[53].



Şekil 2. Kolonlarda toprak derinliği ile ÇO konsantrasyonu değişimleri.

Figure 2. Changes of dissolved oxygen concentration with soil depth in columns.

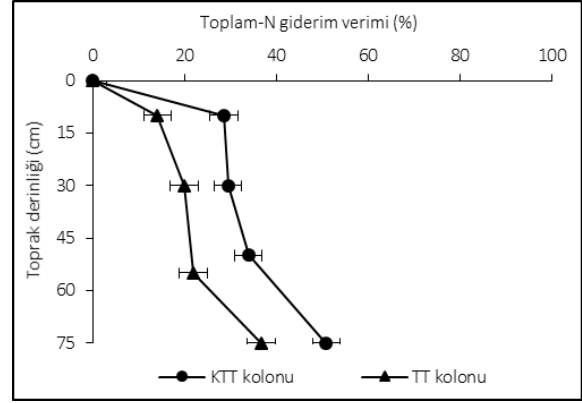
3.4 Kolonlarda toplam-N değişimi

Giriş ve farklı derinliklerden alınan süzöntü numunelerinde toplam-N analizleri yapılmıştır. Tüm süzöntü numunelerindeki toplam-N konsantrasyonları KTT kolonunda 11.31-38.21 mg/L, TT kolonunda ise 15.81-41.11 mg/L aralığında değişmiştir.

Toplam-N konsantrasyonu toprak derinliği arttıkça azalmış ve ortalama 37,05 mg/L giriş değerinden 75 cm son numune alma derinliğinde; KTT ve TT kolonlarında sırasıyla ortalama 18.21 mg/L ve 23.44 mg/L'ye kadar azalmıştır. Buna göre ortalama toplam-N giderim verimi KTT'de %50.85, TT'de %36.72 olmuştur. Şekil 3'te KTT ve TT kolonlarındaki derinliğe bağlı toplam-N giderim verimi verilmiştir.

Toprak ortamının ilk derinliklerinde hem atıksu ile birlikte gelen organik madde ve besin maddelerinin hem de oksijenin fazla olması nedeni ile mikrobiyal faaliyetler de fazladır. Bu nedenle azot, mikroorganizmaların protein sentezi ve gelişimi

için kullanılarak kolonların ilk derinliklerinde daha yüksek bir hızda giderilmiştir. Derinlik arttıkça toplam-N giderim verimi toprakların KDK'sına bağlı olarak amonyum iyon değişimi, toprak yüzeyine adsorpsiyon ve filtrasyon ile artmaya devam etmiştir. KTT kolonunda filtrasyon oranının düşük olmasına bağlı olarak atıksuyun havuzlanması sırasında mikrobiyal faaliyetler için daha uygun bir ortam oluşmuş ve ilk 10 cm derinlikte TT kolonuna göre daha fazla bir giderim verimi elde edilmiştir. Bu bulgular literatürde TAAS ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ile uyumlu olarak tespit edilmiştir [27],[31],[35],[36],[46].



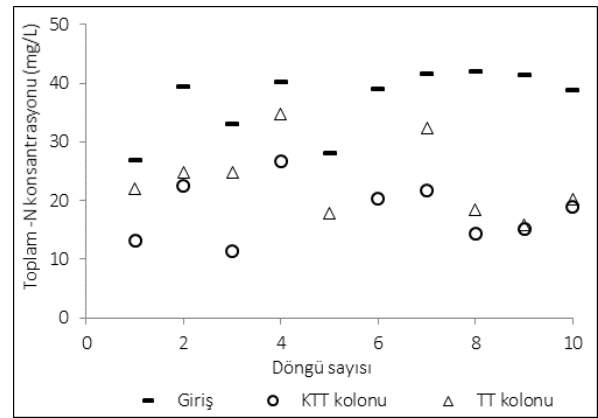
Şekil 3. Kolonlarda derinliğe bağlı toplam-N giderim verimi.

Figure 3. Changes in total-N removal efficiency with soil depth in columns.

ÇO konsantrasyonu deneysel çalışmalar süresince hiçbir süzöntü numunesinde 1 mg/L'den az ölçülmediği için biyolojik azot giderimi için gerekli olan nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecinin denitrifikasyon adımı gerçekleşmemiştir [54].

Toplam-N gideriminin KTT kolonunda daha fazla gerçekleştiği hesaplanmıştır. Bunun nedeni olarak killi toprakta KDK'nın daha yüksek olması gösterilebilir [47].

Laboratuvar ölçekli TAAS çalışmaları süresince toplam-N giderim verimlerinde zamanla herhangi bir azalma olmadığı, giderimin stabil olarak devam ettiği gözlenmiştir. Çalışma döngülerine bağlı olarak giriş ve 75 cm derinlikten alınan süzöntü numunelerindeki toplam-N konsantrasyonu değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



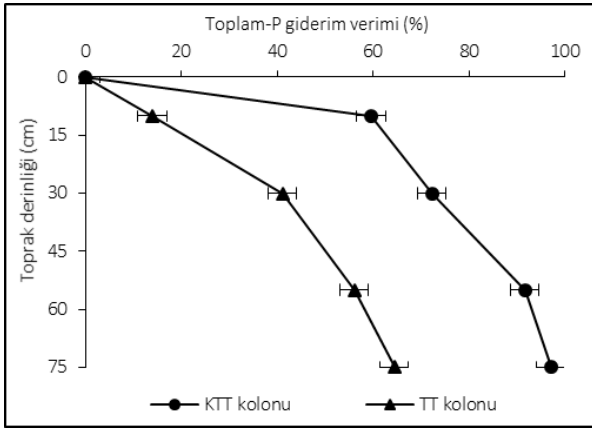
Şekil 4. Çalışma döngülerine bağlı giriş ve 75 cm derinlikteki toplam-N konsantrasyonu değişimi.

Figure 4. Variation of total-N concentration at effluent in 75 cm depth and influent according to the operating cycles.

3.5 Kolonlarda toplam-P değişimi

Giriş ve farklı derinliklerden alınan süzüntü numunelerinde toplam-P analizleri yapılmıştır. Tüm süzüntü numunelerindeki toplam-P konsantrasyonları KTT kolonunda 0.07-2.24 mg/L, TT kolonunda ise 0.94-3.93 mg/L aralığında değişmiştir.

Toprak derinliği arttıkça toplam-P konsantrasyonu azalmış ve ortalama 2.92 mg/L giriş değerinden 75 cm son numune alma derinliğinde; KTT ve TT kolonlarında sırasıyla ortalama 0.09 mg/L ve 1.04 mg/L'ye kadar azalmıştır. Bulunan konsantrasyonlar dikkate alındığında ortalama toplam-P giderim verimi KTT'de %97.07 TT'de %64.43 olmuştur. Şekil 5'te KTT ve TT kolonlarındaki derinliğe bağlı toplam-P giderim verimi verilmiştir.



Şekil 5. Kolonlarda derinliğe bağlı toplam-P giderim verimi.

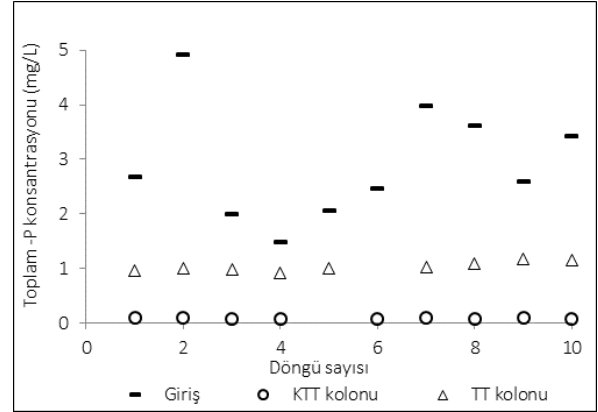
Figure 5. Changes in total-P removal efficiency with soil depth in columns.

Toplam-P konsantrasyonu da toplam-N konsantrasyonundaki değişime benzer şekilde kolonlarda ilk 10 cm'de hızla azalırken, sonrasında dikkate değer bir şekilde derinlik arttıkça konsantrasyonlardaki azalma devam etmiştir.

Toplam-P konsantrasyonunun KTT kolonunda ilk 10cm'de hızlı bir azalış göstermesinin nedeni bu kolonda filtrasyon oranının düşük olması buna bağlı olarak atıksuyun havuzlanması sırasında fosforun daha fazla çökmesidir. Literatürde farklı toprak tipleri ile yapılan çalışmalarda da bu bulguları destekleyen sonuçlar elde edilmiştir [35],[55]-[57]. İlk 10 cm toprak derinliğindeki hızlı fosfor giderimini takiben kolonlar boyunca giderim verimi toprak yüzeyine adsorpsiyon ve toprak boşluklarında çökme ile devam etmiştir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalar dikkate alındığında çoğunlukla gerçek ölçekli TAAS çalışmalarında atıksuyun filtrelandığı havuzlarda oksijen ve besin maddesi fazlalığına bağlı olarak havuz içerisinde alg oluşumunun gerçekleştiği, oluşan bu alglerin ve atıksu içerisindeki partiküllerin zamanla havuz tabanında çökmesinin de fosfor gideriminde oldukça önemli unsurlar olduğu belirtilmiştir [55]. Bu çalışmada ise deneysel süreçte atıksu beslemesinin yapıldığı kolonların üzerinde herhangi bir alg oluşumu tespit edilmemiş, çok az miktarda köklü kısa boylu otsu bitkiler gelişmiştir.

Toplam-N gideriminde olduğu gibi laboratuvar ölçekli TAAS çalışmaları süresince toplam-P giderim verimlerinde de zamanla dikkate değer herhangi bir değişim gözlemlenmemiş, giriş konsantrasyonlarından bağımsız olarak her iki kolonda da oldukça düşük konsantrasyonlara kadar bir azalma elde edilmiştir. Çalışma döngülerine bağlı olarak giriş ve 75 cm

derinlikten alınan süzüntü numunelerindeki toplam-P konsantrasyonu değişimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çalışma döngülerine bağlı giriş ve 75 cm derinlikteki toplam-P konsantrasyonu değişimi.

Figure 6. Variation of total-P concentration at effluent in 75 cm depth and influent according to the operating cycles.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada farklı tip iki toprak kullanılarak hazırlanmış laboratuvar ölçekli bir TAAS ile ikincil arıtılmış atıksulardaki azot ve fosforun toprak derinliğine boyunca giderim verimi ve toprak tiplerinin arıtma verimine etkisi araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda her iki toprak tipinin de toplam-N ve toplam-P gideriminde etkili olduğu, toprak derinliği ile doğru orantılı olarak giderim verimlerinin arttığı ve deneysel çalışmalar süresince giderim verimlerinde zamana bağlı herhangi bir azalmanın olmadığı tespit edilmiştir.

Toplam-N ve toplam-P gideriminde her iki toprak tipinde de ilk 10 cm oldukça etkili ve önemli olmuştur.

Kullanılan iki farklı topraktan KTT hem toplam-N hem de toplam-P gideriminde TT'ye göre daha etkili olmuştur.

Toplam-N, KTT kolonunda %50.85 giderilirken TT kolonunda %36.72 oranında giderilmiştir. Toplam-N gideriminde KTT'nin daha etkili olmasının nedeni KDK'sının daha yüksek olması ve daha fazla amonyum katyonunu tutabilmesidir. Diğer yandan kil ve organik madde içeriğinin TT'ye göre daha fazla, buna bağlı olarak filtrasyon oranının düşük olması azotun asimilasyon ve filtrasyon ile daha fazla giderilmesini sağlamıştır.

Azotun biyolojik giderimi için gerekli olan nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecinin denitrifikasyon adımı iki kolonda da anoksik şartlar oluşmadığı için gerçekleşmemiştir. Denitrifikasyon şartlarının sağlanması toplam-N giderim verimini arttırmak için etkili bir çözüm olacaktır, bu da gerçek ölçekli uygulamalarda olduğu gibi toprak derinliğinin fazla olduğu ya da ıslak döngünün daha uzun tutulduğu durumlarda gerçekleşebilir.

Toplam-P, KTT kolonunda %97.07 giderilirken TT kolonunda %64.43 oranında giderilmiştir. KTT'nin toplam-P gideriminde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Bunun nedeni fosforun giderilmesinde en önemli mekanizma olan çökmenin KTT kolonunda hem havuzlanma tabanında hem de toprak boşluklarında daha fazla gerçekleşmesidir.

KTT kolonunda arıtım verimi daha iyi olmasına rağmen filtrasyon oranının TT kolonuna göre az da olsa düşük olması

bir dezavantajdır. TT kolonunda da durum tam tersidir. Bu da göstermektedir ki gerçek ölçekli bir TAAS uygulaması öncesi sistemin tüm değişkenlerinin optimum verim elde edilecek şekilde laboratuvar koşullarında belirlenmesi gerekmektedir.

5 Conclusions

In this study, the removal efficiency of nitrogen and phosphorus throughout the soil depth and the effect of soil types on the treatment efficiency were investigated with a laboratory scale soil-aquifer treatment system prepared using two different types of soils.

Consequently, it was observed that both soil types were effective in total-N and total-P removal, removal efficiencies increased in direct proportion with soil depth, and there was no time-dependent decrease in removal efficiency during the experimental studies.

In both soil types, the first 10 cm is very effective and important for total-N and total-P removal.

From the two different soils used, CLS was more effective than LS in removing both total-N and total-P.

Total-N was 50.85% removed in the CLS column and 36.72% in the LS column. The reason why CLS is more effective in total-N removal is that it has higher cation exchange capacity and can hold more ammonium cations. On the other hand, the higher clay and organic matter content compared to LS, and the lower filtration rate accordingly, provided more nitrogen removal by assimilation and filtration.

The denitrification step of the nitrification/denitrification process, which is necessary for the biological removal of nitrogen, did not occur because anoxic conditions did not occur in both columns. Ensuring denitrification conditions will be an effective solution to increase the total-N removal efficiency. This can happen in real scale applications where the soil depth is greater or the wet cycle is kept longer.

Total-P was removed 97.07% in the CLS column and 64.43% in the LS column. It is seen that CLS is quite effective in total-P removal. The reason for this is that precipitation, which is the most important mechanism in phosphorus removal, occurs more in the CLS column both at the bottom of pooling and in the soil voids.

Although the treatment efficiency is better in the CLS column, it is a disadvantage that the filtration rate is slightly lower than the LS column. In the LS column, the situation is the opposite. This shows that before a real-scale soil-aquifer treatment application, all the variables of the system should be determined in laboratory conditions to obtain optimum efficiency.

6 Teşekkür

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 2019FEBE006 No.lu projesi kapsamında desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Mesut AK fikrin oluşturulması, tasarımın yapılması, kaynak ve malzemelerin temini, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi, literatür taraması, yazım ve eleştirel inceleme; İlayda TOP veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi, literatür taraması başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] Aydın F, Ardali Y. "Seawater desalination technologies". *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 30, 156-178, 2012.
- [2] Nadav I, Arye G, Tarchitzky J, Chen Y. "Enhanced infiltration regime for treated-wastewater purification in soil aquifer treatment (SAT)". *Journal of Hydrology*, 420-421, 275-283, 2012.
- [3] Viswanathan MN, Al Senafy MN, Rashid T, Al-Awadi E, Al-Fahad K. "Improvement of tertiary wastewater quality by soil aquifer treatment". *Water Science and Technology*, 40(7), 159-163, 1999.
- [4] Westerhoff P, Pinney M. "Dissolved organic carbon transformations during laboratory-scale groundwater recharge using lagoon-treated wastewater". *Waste Management*, 20, 75-83, 2000.
- [5] Yun-zheng PI, Jian-long W. "A field study of advanced municipal wastewater treatment technology for artificial groundwater recharge". *Journal of Environmental Sciences*, 18(6), 1056-1060, 2006.
- [6] Drewes JE, Reinhard M, Fox P. "Comparing microfiltration-reverse osmosis and soil-aquifer treatment for indirect potable reuse of water". *Water Research*, 37(15), 3612-3621, 2003.
- [7] Cha W, Choi H, Kim J, Kim IS. "Evaluation of wastewater effluents for soil aquifer treatment in South Korea". *Water Science and Technology*, 50(2), 315-322, 2004.
- [8] Ernst M, Sachse A, Steinberg CEW, Jekel M. "Characterization of the DOC in nanofiltration permeates of a tertiary effluent". *Water Research*, 34(11), 2879-2886, 2000.
- [9] Xue S, Zhao QL, Wei LL, Wang LN. "Reduction of dissolved organic matter and trihalomethane formation potential during laboratory-scale soil-aquifer treatment". *Water and Environmental Journal*, 22, 148-154, 2008.
- [10] Akber A, Mukhopadhyay A, Al-Senafy M, Al-Haddad A, Al-Awadi E, Al-Qallaf H. "Feasibility of long-term irrigation as a treatment method for municipal wastewater using natural soil in Kuwait". *Agricultural Water Management*, 95, 233-242, 2008.
- [11] Yu T, Bouwer EJ, Coelhan M. "Occurrence and biodegradability studies of selected pharmaceuticals and personal care products in sewage effluent". *Agricultural Water Management*, 86, 72-80, 2006.
- [12] Thawale PR, Juwarkar AA, Singh SK. "Resource conservation through land treatment of municipal wastewater". *Current Science*, 90(5,10), 704-711, 2006.
- [13] Zhang Z, Lei Z, Zhang Z, Sugiura N, Xu X, Yin D. "Organics removal of combined wastewater through shallow soil infiltration treatment: A field and laboratory study". *Journal of Hazardous Materials*, 149, 657-665, 2007.
- [14] American Water Works Association (AWWA). *Water Quality and Treatment*. New York, USA, McGraw-Hill, 1990.

- [15] Hussain S, Aziz HA, Isa MH, Adlan MN, Asaari FAH. "Physico-chemical method for ammonia removal from synthetic wastewater using limestone and GAC in batch and column studies". *Bioresource Technology*, 98, 874-880, 2006.
- [16] Peavy HS, Rowe DR, Tchobanoglous G. *Environmental Engineering*. international ed, New York, USA, McGraw-Hill Co. 1985.
- [17] Im H, Yeo I, Maeng SK, Park CH, Choi H. "Simultaneous attenuation of pharmaceuticals, organic matter, and nutrients in wastewater effluent through managed aquifer recharge: Batch and column studies". *Chemosphere*, 143, 135-141, 2016.
- [18] U.S. EPA. "Biological Nutrient Removal Processes and Costs". United States Environmental Protection Agency Office of Water, Washington DC, USA, Technical Report, EPA-823-R-07-002, 2007.
- [19] U.S. EPA. "Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document". United States Environmental Protection Agency Office of Wastewater, USA, Technical Report, EPA 832-R-08-00, 2008.
- [20] He K, Echigo S, Itoh S. "Effect of operating conditions in soil aquifer treatment on the removals of pharmaceuticals and personal care products". *Science of the Total Environment*, 565, 672-681, 2016.
- [21] Suárez S, Carballa M, Omil F, Lema JM. "How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters?". *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, 125-138, 2008.
- [22] Martinsa T, Leitão TE, Carvalho MR. "Assessment of wastewater contaminants retention for a Soil-Aquifer Treatment system using soil-column experiments". *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 332-335, 2017.
- [23] Ak M, Gunduz O. "Aritılmış atıksuların yeniden kullanımında toprak akifer arıtma sistemlerinin rolü". *International Symposium of Water and Wastewater Management*, Malatya, Turkey, 26-28 October, 2016.
- [24] Abel CDT, Sharma SK, Mersha SA, Kennedy MD. "Influence of intermittent infiltration of primary effluent on removal of suspended solids, bulk organic matter, nitrogen and pathogens indicators in a simulated managed aquifer recharge system". *Ecological Engineering*, 64, 100-107, 2014.
- [25] Modrzyński JJ, Aamanda J, Wittorf L, Badawi N, Hubalek V, Canelles A, Hallin S, Albers CN. "Combined removal of organic micropollutants and ammonium in reactive barriers developed for managed aquifer recharge". *Water Research*, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116669>
- [26] Betancourt WQ, Schijven J, Regneryc J, Wingc A, Morrisona CM, Drewesc JE, Gerba CP. "Variable non-linear removal of viruses during transport through a saturated soil column". *Journal of Contaminant Hydrology*, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.04.002>
- [27] Mienis O, Arye G. "Long-term nitrogen behavior under treated wastewater infiltration basins in a soil-aquifer treatment (SAT) system". *Water Research*, 134, 192-199, 2018.
- [28] Ak M, Gunduz 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, 1467-1483, 2013.
- [29] Quanrud DM, Arnold RG, Wilson LG, Conklin MH. "Effect of soil type on water quality improvement during soil aquifer treatment". *Water Science and Technology*, 33(10-11), 419-431, 1996.
- [30] Candela L, Fabregat S, Josa A, Suriol J, Vignes N, Mas J. "Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain)". *Science of the Total Environment*, 374, 26-35, 2007.
- [31] Friedman L, Mamane H, Avisar D, Chandran K. "The role of influent organic carbon-to-nitrogen (COD/N) ratio in removal rates and shaping microbial ecology in soil aquifer treatment (SAT)". *Water Research*, 146, 197-205, 2018.
- [32] Nijhawan A, Labhsetwar P, Jain P, Rahate M. "Public consultation on artificial aquifer recharge using treated municipal wastewater". *Resources, Conservation and Recycling*, 70, 20-24, 2013.
- [33] Ak M, Top İ. "Use of treated municipal wastewater for agricultural irrigation". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1161-1168, 2018.
- [34] Fox P, Narayanaswamy K, Genz A, Drewes JE. "Water quality transformations during soil aquifer treatment at the Mesa Northwest Water Reclamation Plant, USA". *Water Science and Technology*, 43(10), 343-350, 2001.
- [35] Idelovitch E, Icekson-Ta, N, Avraham O, Michail M. "The long-term performance of soil aquifer treatment (SAT) for effluent reuse". *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 239-246, 2003.
- [36] Essandoh HMK, Tizaoui C, Mohamed MHA. "Removal of dissolved organic carbon and nitrogen during simulated soil aquifer treatment". *Water Research*, 47, 3559-3572, 2013.
- [37] Bouwer H. "Integrated water management: emerging issues and challenges". *Agricultural Water Management*, 45(3), 217-228, 2000.
- [38] Funderburg SW, Moore BE, Sorber CA, Sagik BP. "Method of soil column preparation for the evaluation of viral transport". *Applied and Environmental Microbiology*, 38(1), 102-107, 1979.
- [39] Lian J, Luo Z, Jin M. "Transport and fate of bacteria in sat system recharged with recycling water". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 76, 98-101, 2013.
- [40] Nema P, Ojha CSP, Kumar A, Khanna P. "Techno-economic evaluation of soil-aquifer treatment using primary effluent at ahmedabad, India". *Water Resource*, 35(9), 2179-2190, 2001.
- [41] Amy G, Drewes J. "Soil aquifer treatment (SAT) as a natural and sustainable wastewater reclamation/reuse technology: Fate of wastewater effluent organic matter (EfOM) and trace organic compounds". *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1-3), 19-26, 2007.
- [42] Shuang X, QingLiang Z, LiangLiang W, LiNa W, ZhiGang L. "Fate of secondary effluent dissolved organic matter during soil-aquifer treatment". *Chinese Science Bulletin*, 52(18), 2496-2505, 2007.
- [43] Essandoh HMK, Tizaoui C, Mohamed MHA, Amyc G, Brdjanovic D. "Soil aquifer treatment of artificial wastewater under saturated conditions". *Water Research*, 45(14), 4211-4226, 2011.
- [44] Pavelic P, Dillon PJ, Mucha M, Nakai T, Barry KE, Bestland E. "Laboratory assessment of factors affecting soil clogging of soil aquifer treatment systems". *Water Research*, 45(10), 3153-3163, 2011.

- [45] Sharma SK, Harun CM, Amy G. "Framework for assessment of performance of soil aquifer treatment systems". *Water Science and Technology*, 57(6), 941-946, 2008.
- [46] Ak M, Gunduz O. "Fate of nutrients in secondary treated municipal wastewater during percolation through the soil media". *Clean Soil Air Water*, 42(8), 1036-1043, 2014.
- [47] Kopchynski T, Fox P, Alsmadi B, Berner M. "The effects of soil type and effluent pre-treatment on soil aquifer treatment". *Water Science and Technology*, 34(11), 235-242, 1996.
- [48] Laws BV, Dickenson ERV, Johnson TA, Snyder SA, Drewes JE. "attenuation of contaminants of emerging concern during surface-spreading aquifer recharge". *Science of the Total Environment*, 409(6), 1087-1094, 2011.
- [49] Top İ. Toprak Akifer Arıtma Sistemlerinde Toprak Tiplerinin Arıtma Verimine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2020.
- [50] Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. "Denizli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi projelendirme kriterleri". <https://www.deski.gov.tr/denizli-merkez-atiksu-aritma-tesisi> (08.07.2019).
- [51] Gungor K, Unlu K. "Nitrite and nitrate removal efficiencies of soil aquifer treatment columns". *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 29, 159-170, 2005.
- [52] Rauch T, Drewes JE. "Quantifying biological organic carbon removal in groundwater recharge systems". *Journal of Environmental Engineering*, 131(6), 909-923, 2005.
- [53] Rauch T, Drewes JE. "Using soil biomass as an indicator for the biological removal of effluent-derived organic carbon during soil infiltration". *Water Research*, 40, 961-968, 2006.
- [54] Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York, USA, McGraw Hill, 2003.
- [55] Environmental Protection Agency (EPA). "Wastewater technology fact sheet: rapid infiltration land treatment", United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington DC, USA, 2003.
- [56] Reemtsma T, Gnir R, Jekel M. "Infiltration of combined sewer overflow and tertiary municipal wastewater: an integrated laboratory and field study on nutrients and dissolved organics", *Water Research*, 34(4), 1179-1186, 2000.
- [57] Cha W, Kim J, Choi H. "Evaluation of steel slag for organic and inorganic removals in soil aquifer treatment". *Water Research*, 40, 1034-1042, 2006.