

Investigation of Recyclability of Domestic Gray Water

Ayşenur Özgün^{1,*}, Yasemin Damar Arifoğlu²

¹Sakarya University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Sakarya, Turkey.

²Sakarya University, Engineering Faculty, Institute of Natural Science, Sakarya, Turkey

Keywords

Graywater, Sequential Batch Reactor, Recovery/Reuse, Sustainability

Article information

Received: Dec 02, 2022

Revised: Jan 04, 2023

Accepted: Jan 19, 2023

Online: Jun 23, 2023

doi: [10.29002/asujse.1213829](https://doi.org/10.29002/asujse.1213829)

Abstract

It is aimed to treat and reuse gray water in order to meet the increased water requirements as a result of the decrease in water resources. Purifying and recycling gray water with the aim of protecting drinking water is an alternative resource. Gray water from showers, bathroom and kitchen sinks, washing machines and dishwashers constitute a large part of domestic wastewater. Gray water contains a low amount of total pollutant load. Gray waters, which include waste water other than toilets, constitute 55-80% of the total domestic water use.

The gray water used in this study was obtained from a residence of 20-24 people consisting of 6 flats in Kocaeli province, Izmit district. Among the various gray water recycling treatment technologies, SBR (Sequential Batch Reactor) is an effective treatment technique for reducing dissolved suspended solids and nutrient removal from gray water. A lab-scale SBR was designed as a pilot plant to treat gray water. Water samples were collected at 1-day and 2.5-day hydraulic reaction times (HRT). In the results obtained in 1 day of HRT; avg. pH value 7.32, avg. EC value 586.8 μ S/cm, avg. DO value 3.30 mg/L, avg. turbidity value of 7.39 NTU and avg. turbidity removal efficiency 99%, avg. TSS value of 6.92 mg/L and avg. TSS removal efficiency 98%, avg. phosphorus value is 7.51 mg/L and avg. phosphorus removal efficiency 84%, avg. nitrogen value is 15.92 mg/L and avg. nitrogen removal efficiency 59% and avg. COD value is 569 mg/L and avg. removal efficiency was measured as 69%. In the results obtained in 2,5 days of HRT; avg. pH value 7.76, avg. EC value 574.6 μ S/cm, avg. DO value 5.07 mg/L, avg. turbidity value of 4.34 NTU and avg. turbidity removal efficiency 99%, avg. TSS value of 4.72 mg/L and avg. TSS removal efficiency 98%, avg. phosphorus value is 3.79 mg/L and avg. phosphorus removal efficiency 89%, avg. nitrogen value 13.02 mg/L and avg. nitrogen removal efficiency 54% and avg. COD value is 368 mg/L and avg. the removal efficiency was measured as 70%.

Evsel Nitelikli Gri Suyun Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması

Anahtar Kelimeler

Gri Su, Ardışık Kesikli Reaktör, Geri Kazanım/Yeniden Kullanım, Sürdürülebilirlik.

Özet

Su kaynaklarının azalması sonucu artan su gereksinimlerini sağlamak için gri suların artırılması ve yeniden kullanılması amaçlanmaktadır. İçme sularını korumak hedefiyle gri suların artırılarak geri kazanılması alternatif bir kaynak oluşturmaktadır. Duşlardan, banyo ve mutfak lavabolarından, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen gri sular evsel atık suyun büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Gri su toplam kirletici yükünü düşük miktarda içermektedir. Tuvalet harici atık suları içeren gri sular toplam evsel su kullanımının %55-80'lik kısmını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan gri su, Kocaeli İl'i İzmit İlçesi'nde 6 daireden oluşan 20-24 kişilik konuttan temin edilmiştir. Çeşitli gri su geri dönüşüm arıtma teknolojileri arasında AKR (Ardışık Kesikli Reaktör), gri sudan çözünmüş askıda katı madde ve nutrient gideriminin azaltılmasında etkili bir arıtma tekniğidir. Gri suyu arıtmak için laboratuvar ölçekli bir AKR, pilot tesis olarak tasarlanmıştır. 1 günlük ve 2.5 günlük hidrolik reaksiyon sürelerinde(HRT) su örnekleri toplanmıştır. HRT 1 günde elde edilen sonuçlarda; ort. pH değeri 7.32, ort. E.İ. değeri 586.8 μ S/cm, ort. Ç.O. değeri 3.30 mg/L, ort. bulanıklık değeri 7.39 NTU ve ort. bulanıklık giderim verimi %99, ort. AKM değeri 6.92 mg/L ve ort. AKM giderim verimi %98, ort. fosfor değeri 7.51 mg/L ve ort. fosfor giderim verimi %84, ort. azot değeri 15.92 mg/L ve ort. azot giderim verimi %59 ve ort. KOİ değeri 569 mg/L ve ort. giderim verimi %69 olarak

*Corresponding Author: ydamar@sakarya.edu.tr  0000-0003-1281-0847



ölçülmüştür. HRT 2.5 günde elde edilen sonuçlarda; ort. pH değeri 7.76, ort. E.İ. değeri 574.6 μ S/cm, ort. Ç.O. değeri 5.07 mg/L, ort. bulanıklık değeri 4.34 NTU ve ort. bulanıklık giderim verimi %99, ort. AKM değeri 4.72 mg/L ve ort. AKM giderim verimi %98, ort. fosfor değeri 3.79 mg/L ve ort. fosfor giderim verimi %89, ort. azot değeri 13.02 mg/L ve ort. azot giderim verimi %54 ve ort. KOİ değeri 368 mg/L ve ort. giderim verimi %70 olarak ölçülmüştür

1.Giriş

Su kaynakları, insan yaşamı, sosyoekonomik gelişim ve ekosistem sağlığı için gereklidir [1]. Su talebi çoğaldıkça, toplam yenilenebilir tatlı su kaynaklarına baskı arttıkça, su kıtlığı sürdürülebilir kalkınma alanında en büyük risklerden biri haline gelmiştir [2]. Öte yandan nüfus artışı, artan gıda talebi, rezervuar düzenlemesi, arazi kullanımı ve insan faaliyetleri su kıtlığı koşullarının evrimini de büyük ölçüde etkileyecektir [3]. İklim değişikliğinin yol açtığı artan sıcaklıklar, artan buharlaşma ve dolayısıyla yağış ve nehir akışlarındaki değişiklikler nedeniyle su mevcudiyeti etkilenecektir [4]. İklim değişikliği sonucu su stresli alanlar dünya çapında genişlerken, su tasarrufu kuraklık bağlamında su kaynaklarını yönetmek için önemli bir araç haline gelmiştir [5].

İnsanın hayatta kalması için çok önemli bir kaynak olan su, dünyanın %70'ini kaplar ve bunun %3'ü tatlı su olarak kullanılabilir ve bu miktarın sadece %0,06'sına kolayca erişilebilir [6]. Dünya nüfusunun büyük bir kısmı gelişmekte olan ülkelerdedir ve güvenli içme suyunun kullanılamazlığından muzdariptirler. Öte yandan, daha az nüfusa sahip gelişmiş ülkeler güvenli içme suyuna sahip olmakla birlikte su ayak izi ve bertarafı, çeşitli sorunları beraberinde getirdiğinden şişelenmiş suyu satın almak zorunda kalırlar. Yani gelişmiş olduğu kadar gelişmekte olan ülkeler de farklı biçimde su kıtlığı ile karşı karşıyadırlar.

Gıda güvenliğini sağlamak, hayvancılığın sürdürülebilirliğini desteklemek, endüstriyel üretimi sağlamak, biyoçeşitliliği ve çevreyi korumak için suya ihtiyaç vardır. Talep ile tatlı suyun mevcudiyeti arasındaki dengeyi korumak için alternatif bir su kaynağı aramak gerekmektedir. Sorunun üstesinden gelmek için atık suların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı dünya çapında farklı tekniklerle uygulanmıştır. Atık suların arıtılmadan su kütlelerine (nehirler, okyanuslar ve göller) boşaltılması, su kütlelerinin kendi kendini temizleme kapasitesini azaltmakta ve doğal kaynaklardaki kirlenmeyi arttırmaktadır. Kentsel atık suların geri dönüşümü, su kıtlığıyla mücadelede hem gelişmekte hem de gelişmiş ülkelerde tatlı su ve yeraltı sularının korunmasına yardımcı olduğundan ilgi görmektedir [7].

Evlerden üretilen atık sular tipik olarak siyah su ve gri sudan oluşur. Siyah su, tuvaletlerde üretilen atık su olarak tanımlanırken, çamaşır, banyo, duş, el lavaboları, bulaşık makineleri ve mutfak lavabolarında kullanılmak üzere kirlenmiş tatlı suya gri su denir [8]. Bir evin ürettiği gri su miktarı yaşam tarzına bağlı olarak değişir genellikle ev düzeyindeki toplam su tüketiminin %50 ila %80'i arasında değişmektedir [9]. Gri sularda bulunan kirleticiler arasında yağ, mutfak lavobasında oluşan gıda atıkları ve tüm ev temizlik ve kişisel bakım ürünlerinden yüzey aktif maddeler bulunmaktadır. Siyah suya kıyasla gri su karakteristik olarak düşük askıda katı maddelere (patojenler ve azot) sahiptir [10]. Gri suyun kalitesi içilebilir sudan daha zayıf ve kanalizasyondan daha iyi olduğundan, gri suyun merkezi olmayan arıtımı ve geri dönüşümü kolayca yapılabilir [11]. Bu özellikleri nedeniyle gri su, yeniden kullanım yoluyla evsel su tasarrufu için büyük bir potansiyeli temsil eder. Dünyanın birçok yerinde peyzaj sulama, tuvalet yıkama, bahçe ve diğer içilebilir olmayan kullanımlar için tercih edilmektedir.

Ev aktivitelerinde kullanılan gri su miktarı nüfus yapılarına, yaşam standartlarına, geleneklere, alışkanlıklara, su bolluğu derecelerine ve su tesisatlarına bağlıdır [12]. Mutfak gri suyundan elde edilen yağ, gıda, toprak parçacıkları, çamaşır makinesinden gelen deterjan, duştan elde edilen şampuan ve saç, lavabolardan sabun, her türlü gri sudaki bulanıklık ve katılığın ana bileşenleridir. pH değeri 5 ile 10 arasında değişen gri su doğada alkali halde bulunur. Mutfak gri suyu proteinleri, karbohidratları ve yağları içerdiğinden en yüksek organik kirlilik seviyesini oluşturur ve böylece gri su yüksek düzeyde BOİ, KOİ ve besin maddelerine sahiptir.


Gri su arıtımında çıkış suyunun kalitesini arttırabilmek ve verimi yükseltmek için kimyasal, fiziksel veya biyolojik arıtma yöntemleri tercih edilebilmektedir. Gri suların arıtımında fiziksel arıtma olarak çöktürme ve filtrasyon işlemleri uygulanmaktadır. Gri suyun fiziksel arıtımı için kullanılan en yaygın yöntem filtrasyon olarak kabul edilmektedir. Kimyasal arıtma teknolojileri olarak iyon değiştiriciler, granüler aktif karbon, elektrokoagülasyon ve fotokatalitik oksidasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal kullanımını önleyerek biyolojik arıtma teknolojileri yöntemleriyle de gri su arıtımı gerçekleştirilebilmektedir. Kullanılan biyolojik arıtma yöntemleri; yapay sulak alanlar, ardışık kesikli reaktörler, döner biyolojik reaktörler ve membran biyoreaktörleridir. Gri suların geri kazanımı için arıtma işlemlerinde yüksek performansın sağlanabilmesi için bir takım ön işlemlerin (filtrasyon veya çöktürme işlemi vb.) ve ikincil (son) işlemlerin (UV ya klor ile dezenfeksiyon işlemi vb.) kullanılması gerekmektedir [13].

Evsel nitelikli gri sularda azot ve fosfor yaygın bir kirleticidir. Azot ve fosforun istenilen seviyelere indirilmesi su kirliliği kontrolü için gereklidir. Biyolojik nutrient giderimi, ötrofikasyon problemini önlemede etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır [14]. Biyolojik nutrient giderimi, deşarj limitlerini karşılamak için hem ekonomik hemde sürdürülebilir teknik olarak kabul edilmiştir [15].

Ardışık kesikli reaktörler (AKR) biyolojik nutrient giderimini de içeren kesikli olarak çalıştırılan aktif çamur prosesinin en popüler modifikasyonudur [16]. AKR'ler doldur boşalt sistemi esasına dayanan ve doldurma, havalandırma, çökeltme ve boşaltma gibi arıtma fonksiyonlarını tek bir tank içerisinde gerçekleştiren aktif çamur prosesinin özel bir halidir. AKR, zaman kontrollü bir dizi kullanarak tek bir tankta dengeleme, biyolojik arıtma ve ikincil arıtma gerçekleştirebilir. Küçük debili evsel nitelikli atık suların biyolojik olarak arıtılmasında tercih edilebilir. AKR kullanıldığında tek bir reaktörde askıda katı madde konsantrasyonunun düşürülmesi, nitrifikasyon, denitrifikasyon prosesiyle azot türlerinin konsantrasyonlarının standartların altına indirilmesi ve biyolojik olarak fosfor gideriminin sağlanması mümkündür [17]. Yüksek arıtma verimi, daha az ve kararlı çamur üretimi ve kolay işletilmesi gibi avantajları sebebiyle tercih edilebilir bir sistemdir. Etkili besin giderimi için büyük bir çalışma esnekliği de sunmaktadır. AKR çevrim süreleri ve akış hızları gibi çalışma koşullarını değiştirmenin kolay olmasından dolayı faydaları vardır. Bu nedenle, ardışık kesikli reaktörler özellikle küçük atık su arıtma tesisleri için kabul edilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, gerçek gri suyun belirlenmiş olan parametrelerde karakterini incelemek, AKR ile arıtımını gerçekleştirdikten sonra belirlenmiş olan parametrelerini tekrardan ölçmek ve giriş-çıkış suları olarak AKR arıtım verimini gözlemlemek olmuştur. Arıtım sistemi olarak tasarlanmış pilot ölçekli AKR teknolojisi ile biyolojik olarak; yüzey aktif maddeleri, organik kirleticileri, toplam azot ve fosforu gidermek hedeflenmiştir. AKR sisteminin arıtım verimini gözlemlemek için HRT süreleri 1 gün'lük ve 2.5 gün'lük çalışma prensibiyle işletilmesi hedeflenmiştir. Her bir HRT için havalandırma ve çöktürme fazları dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan anlık gri su numunelerinin parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan anlık gri su numunelerinin parametre değerleri

Parametreler	Birim	HRT 1 gün için kullanılan numune	HRT 2.5 gün için kullanılan numune	Gerçek gri su numunesi
		1. NUMUNE	2. NUMUNE	
pH	-	4.09	5.42	
Elektriksel İletkenlik	µS/cm	728	915	
Çözünmüş Oksijen	mg/L	0.47	0.58	
Bulanıklık	NTU	1100	1018	
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	394	456	
Fosfor (P)	mg/L	48.05	34.75	
Azot (N)	mg/L	39.25	28.58	
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1854	1239	

2. Materyal ve Metod

2.1. Gri Su Temini ve Karakterizasyonu

Gri su, Kocaeli İl'i İzmit İlçesi'nde 6 dairenin bulunduğu yaklaşık 20-24 kişinin yaşadığı 3 katlı bir apartmandan temin edilmiştir. Bu konut, mutfak evyesi, bulaşık makinesi, duş, lavobalar ve çamaşır makinesinden gelen gri suyu toplamak için ayrı bir tesisat ile donatılmıştır. Binanın çıkışında bulunan yağ tutucuya gelen gri su yağ tutucudan geçtikten sonra belediye kanalizasyon hattına bağlanmaktadır. Numune doğrudan yağ tutucu sonrası hazneden anlık numune olarak alınmıştır. Anlık numuneler günün öğleden önceki zaman diliminde saat 10-12 aralığında plastik kap yardımı ile pet şişelere doldurulmuştur. Çalışma boyunca 2 farklı çalışma şekli için iki farklı anlık numune alınmıştır. Numunelerin

karakteristiğinin bozulmaması için haznedan alınan gri sular doğrudan reaktörün bulunduğu laboratuara getirilmiştir. Gri suyun karakter incelemesi yapılmış ve çalışma boyunca buzdolabında 4 °C'de saklanmıştır.

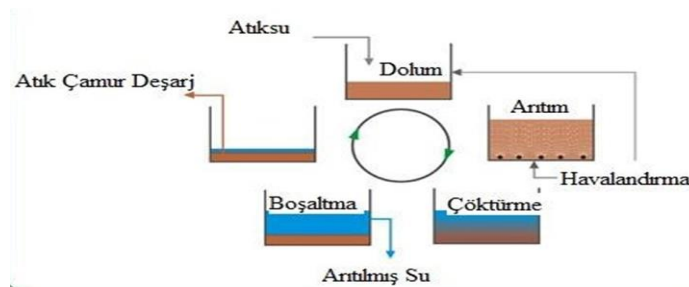
2.2. Laboratuvar ölçekli AKR kurulumu

Laboratuvar ölçekli pilot tesisimiz 20~30~50 cm boyutlarında cam akvaryumdan oluşmaktadır. Tesis hacmi yaklaşık 25-30 L'dir. Havalandırma işlemini gerçekleştirebilmek için mekanik karıştırıcı çalıştırılmıştır.

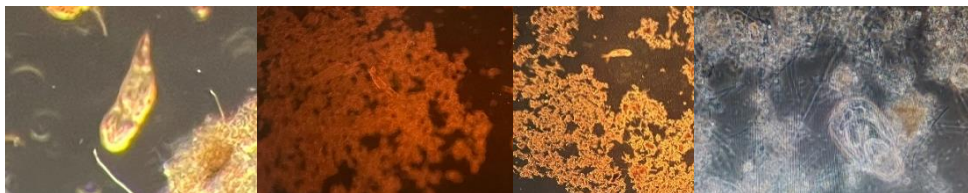
AKR'yi başlatmak için, yerel bir belediye arıtma tesisinin geri devir tankından temin edilen 10 L aktif çamur getirilmiştir. Yerel belediyenin aktif çamur için ölçtüğü değerler çamur hacim indeksi için 126 mL/g, çökebilir çamur hacmi 781 mL/L, organik madde miktarı %55, inorganik madde miktarı %48 ve uçucu askıda katı madde miktarı 5.6 g/L olduğu belediyenin ölçümleri sonucu elde edilmiştir. Aktif çamur reaktöre aktarılarak, besleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamanın amacı biyolojik çamurun arıtım süreci boyunca oluşan, birbirine yapışan ve iyice çöken mikroorganizmaları adapte etmektir. Reaktöre alınan aktif çamur mikroskopta incelenmeye alınmıştır içerisinde çeşitli ve çok sayıda rotifer(Habrotrocha ve Notommata) varlığının olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1). Hücrelerin canlılığının sağlanması ve sistemin kendini hazırlaması için 7-10 gün düzenli besleme yapılmış ve havalandırılmıştır. Bu sürecin uygulanmasındaki amaç çamurun akvaryum içerisindeki adaptasyonunu sağlamak ve havalandırmanın çamur yapısına etkisini gözlemlemek olmuştur. Sistemin devreye alınması ve yeterli mikroorganizma üremesinin ardından gri su ile arıtım aşamasına geçilmiştir. Bu sistemin endüstriyel ölçekte uygulanması için sıcaklık kontrol sorunları, gerçek koşullara ve optimum sıcaklığa daha yakın reaktör koşulları nedeniyle reaktör oda sıcaklığında (20-25 °C) kullanılmıştır. Havalandırma, sistemdeki ÇO miktarını 2 mg/L'nin üzerinde tutmak için mekanik karıştırıcı besleme aşamasından itibaren çalıştırılmıştır. Adaptasyon aşaması sonrası temin edilen gerçek gri su peristaltik pompa yardımı ile pilot tesise aktarılmıştır.

2.3 AKR işletim prensibi

Doldurma periyodu olan 0.5 sa. içerisinde 1 L gri su peristaltik pompa yardımı ile pilot tesise aktarılmıştır. Havalandırma işlemini yapması için mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Mekanik karıştırıcı akvaryumun içerisinde oksijenin homojen bir dağılım yapması ve ölü nokta oluşmaması için belli bir hızda (0.8 rpm) çalıştırılmıştır. Karıştırıcı 0,8 rpm hızda akvaryumun dört köşesine eşit şekilde havalandırmaktadır. Gözle görülür bir anoksik veya anaerobik durumla karşılaşılmaştır. Havalandırma fazı gerçekleştikten sonra çökme fazına geçilmiş ve aktif çamurun tabana çökmesi ve böylece duru fazın üste çıkması sağlanmıştır. Ardışık Kesikli Reaktörün(AKR) çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmiştir. Üstte arıtımını gerçekleştirdiğimiz gri su boşaltma periyodunda tekrardan peristaltik pompa yardımı ile 1 L olarak deşarj edilmiştir. Sistemde arıtılan gri sular 1 L olarak pilot ölçekli reaktörün dört bir köşesinden ve orta noktasından eşit miktarda çekilmiş ve tüm numuneler tek bir kaptaki toparlanıp karıştırılmıştır. Bu karışım numunenin analizi yapılmıştır. Arıtma çamurundaki rotifer varlığı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ardışık Kesikli Reaktörün(AKR) Çalışma Prensibi



Şekil 2. Arıtma çamurundaki rotifer varlığı

Literatürde yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde AKR reaktörlerinde HRT sürelerinin uygulanma prensipleri gözden geçirilmiştir. Yapılan çalışmalar arasında; Lamine ve ark. (2007), AKR sistemlerinde HRT'yi 0.6 gün ve 2.5 günde çalıştırmışlardır elde ettikleri sonuçlarda havalandırmanın fazla olduğu 2,5 günde daha yüksek seviyede verim

gözlemlenmiştir [18]. Leal ve ark.(2010), AKR sistemini 6 saatlik ve 12 saatlik HRT’de çalıştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar 12 saatlik HRT’de çalışmış reaktörün daha verimli sonuçlar çıkardığı görülmüştür [19]. Khuntia ve ark.(2021), AKR sistemlerinden gri suyu 2.25 HRT’de arıtmışlardır ve elde ettikleri sonuçlarda verimli bir çıkış suyu elde etmişlerdir [20]. Yapılan benzer çalışmaların gözden geçirilmesi sonucu AKR sistemi iki farklı döngüde çalıştırılmıştır. 1 gün (12 saat) ve 2.5 gün (60 saat) olarak iki farklı HRT(Hidrolik bekleme süresi) uygulanmıştır. Hidrolik sürelerin çalışma prensipleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. AKR sisteminin çalışma prensibi her iki HRT süreleri için

HRT	1 gün (24 saat)	2.5 gün (60 saat)
Doldurma	15 dak.	15 dak.
Havalandırma	20 sa. 45 dak.	54 sa. 45 dak.
Çökeltme	2 sa. 45 dak.	4 sa. 45 dak.
Boşaltma	15 dak.	15 dak.

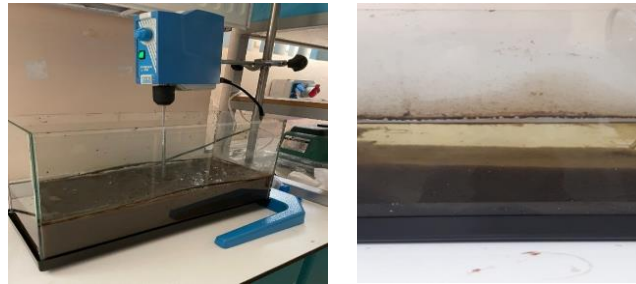
2.1.4 Deney Yöntemleri

Pilot tesis Velp Scientifica marka karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılmıştır. Kullanılan perispaltik pompa Velp SP 311 cihazıdır. pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen değerleri WTW Multi 3410 model cihaz ile ölçülmüştür. Bulanıklık Turbiquant 1100 T cihazı ile ölçülmüştür. AKM deneyi standart metot ile analiz edilmiştir. Fosfor, azot ve KOİ değerleri Merck marka Spectroquant hücre test kitleriyle Spectroquant Pharo 300 model spektrofotometrede ölçülmüştür.

3. Bulgular

3.1 Gerçek Gri Su Numunesinin Analiz Sonuçları

Bu çalışma için kullanılan gri su kaynağı mutfak evyesi, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, duş/küvet ve lavobalardan gelen gri suyu içermektedir. Gri su karakter olarak siyah su yani tuvalet veya klozet suları içermemektedir. Gri suyun fizikokimyasal analizi yapılmıştır (Tablo 1). İki farklı hidrolik bekleme süresi için iki farklı zamanda numune alınmıştır. HRT 1 gün ve HRT 2.5 gün için yapılan deneyler sırasında kullanılan ham gri suyun ilk gün ölçülen ölçüm değerleri alınmış ona göre kıyaslama ve verim hesabı yapılmıştır.



Şekil 3. a) Reaktörün havalandırma fazı b) Reaktörün çökeltme fazı

Gri suyun pH’ının 4.09-5.42 değerlerinde asidik olduğu gözlemlenmiştir. Gri sudaki pH, kumaş yumuşatıcılar, ağartıcı maddeler ve dezenfektanlar gibi belirli kimyasallarla doğrudan ilişkilidir [8]. Elektriksel iletkenlik değerinin de 728-915 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu ölçülmüştür. Hammaddelerinde fosfat, sodyum ve potasyum bulunan deterjanlar çözünen katının zenginleşmesine yol açarak elektriksel iletkenliğin artmasına sebep olurlar [21]. Çözülmüş oksijen değerleri 0.47-0.58 mg/L aralığında olduğu ölçümler sonucu bulunmuştur. Suda durgunluk, derinlik, sıcaklık, mineral ve kirletici varlığı arttıkça oksijen miktarı azalmaktadır. Bulanıklığın 1018-1100 NTU olduğu ölçülmüştür. Kil, silt, organik ve inorganik maddeler, kişisel bakım ürünleri, sabun ve deterjanlar, fekal koliformlar ve diğer mikroskobik canlılar bulanıklığa neden olmaktadır [22]. Askıda katı madde (AKM) değerlerinin yapılan deneyler sonucunda 394-456 mg/L değerlerinde olduğu hesaplanmıştır. Mutfak evyesi, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen gri sular AKM değerlerinin yüksek çıkmasında etkilidir [21]. Fosfor değeri 34.75-48.05 mg/L olarak ölçülmüştür. Deterjanlarda suyun sertliğini azaltıp yıkama performansını arttırmak için kullanılan kimyasallar önemli fosfat kaynaklarıdır[23]. Azot değerinin iki farklı zamanda alınan gerçek gri suda 28.58-39.25 mg/L değerleri arasında olduğu ölçülmüştür. Karışık gri sular fazlaca azot konsantrasyonu ile karakterize olmaktadır. Protein bakımından zengin yiyecekler amonyak bakımından zengin temizlik ürünleri azot miktarını arttırmaktadır [24]. KOİ değerleri 1239-1854 mg/L aralığında olduğu analiz edilmiştir. KOİ kirlilik yükü kişisel hijyen malzemeleri, bulaşık ve çamaşır deterjanları gibi kullanılan ürünlerden kaynaklı farklılık

göstermektedir. Çamaşır makinesinden gelen gri su KOİ değerinin en yüksek seyrettiği kaynaktır [25]. Reaktörün havalandırma fazı ve çökeltme fazındaki görüntüsü Şekil 3’de (a) ve (b) şeklinde gösterilmiştir.

Genel olarak gri suyun karakterine bakıldığı zaman kirli gri su kapsamına girmektedir. Gri su özelliklerinin yaşam tarzlarına, insanların kullandığı ürünlere, şebeke dağıtım sisteminin tipine ve su kaynağına bağlı olarak oldukça değişken olduğu bildirilmektedir. Tüm bunlara ek olarak alınmış olan numunelerin karakterindeki değişkenliklerin sebebi gri suyun depolama alanından çekilme şekli, alındığı zaman dilimi ve ortamın sıcaklığının etkili olmasıdır.

3.2 Artırılmış Gri Suyun Analiz Sonuçları

Sisteminin performansını belirlemek için AKR farklı hidrolik bekleme sürelerinde çalıştırılmıştır. AKR performansı öncelikle 1 gün’lük HRT süresi ile sonrasında 2.5 gün’lük HRT süresiyle çalışmıştır. HRT süreleri arıtım verim performansında etkili olmuştur.

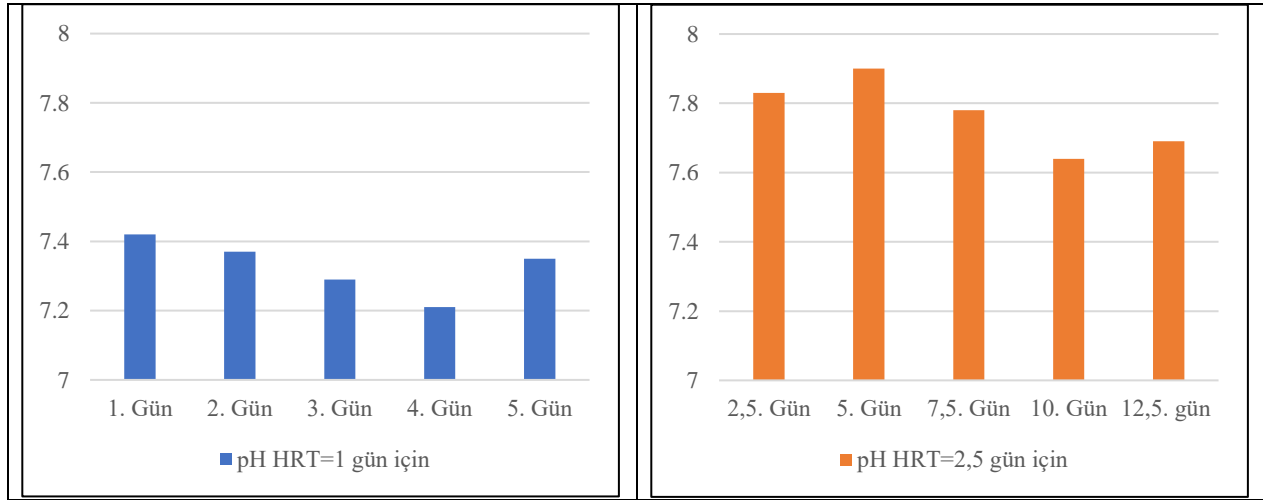
Laboratuvar ölçekli pilot tesis her iki HRT süresinde 0,8 rpm’de çalıştırılmıştır. 1 gün ve 2.5 gün’lük HRT’lerden sonra artırılmış gri su numuneleri toplanmış parametreler analiz edilmiştir.

3.2.1. pH Değerleri

pH değerleri ölçümü sonucu 1 gün’lük çalışma verileri 7.21-7.42 iken 2.5 gün’lük verilerinde ise 7.64-7.9 değerleri elde edilmiştir Farklı HRT sürelerinde pH değerlerinin değişimi Tablo 3’de verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde pH değerlerinin değişimi Şekil 4 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.

Tablo 3. HRT sürelerinde pH değerlerinin değişimi

pH		Giriş	Çıkış	pH		Giriş	Çıkış
HRT=1 gün	1. Gün	4.09	7.42	HRT=2.5 gün	2.5. Gün	5.42	7.83
	2. Gün		7.37		5. Gün		7.9
	3. Gün		7.29		7.5. Gün		7.78
	4. Gün		7.21		10. Gün		7.64
	5. Gün		7.35		12.5. gün		7.69



Şekil 4. a) HRT 1 günde pH değişimi b) HRT 2.5 günde pH değişimi

HRT süresinin artmasıyla pH değerleride artmaktadır. HRT 1 günde yapılan incelemelerde pH değerleri max. 7.42 seviyelerine çıkabilmiştir. 3. gün ölçümünden sonra pH min. değeri ölçülmüştür. HRT 2.5 günde ölçülen değerler arasında HRT 1 güne kıyasla daha yüksek seviyelerde gözlemlenmiştir. HRT'nin artmasıyla pH değerlerinin artması, akvaryumdaki aerobik durumun artması nedeniyle uçucu yağ asitlerinin oksitlendiğini göstermektedir [26].

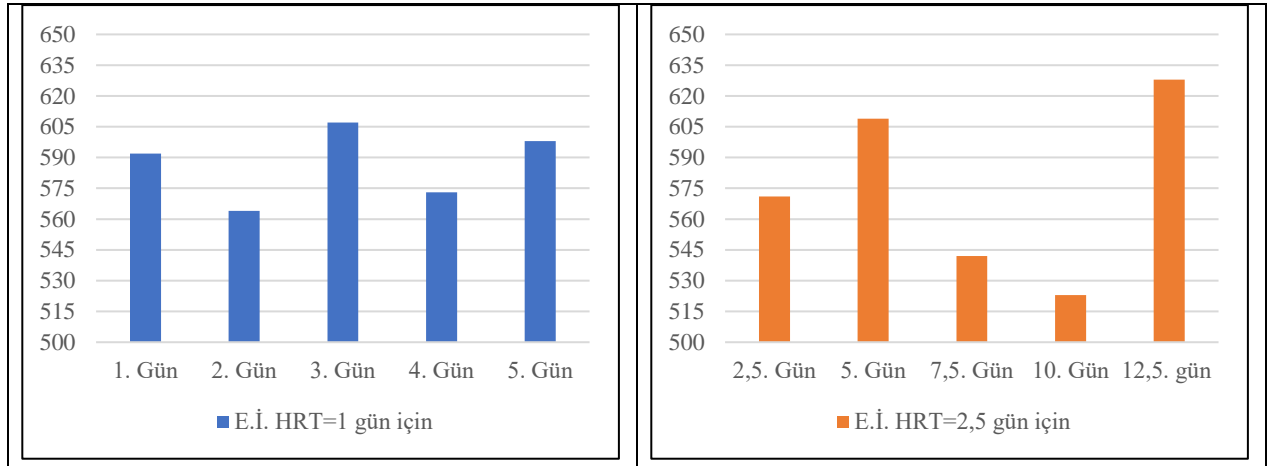
3.2.2. Elektriksel İletkenlik Değerleri

Elektriksel iletkenlik değerleri HRT 1 gün ve HRT 2.5 gün olan çalışma dilimlerinde sırasıyla 564-607 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 523-628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerleri arasında ölçülmüştür (Tablo 4.). Elektriksel iletkenlik değerleri genel olarak 500-650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında tutulmuştur. Sonuçlar gözden geçirildiğinde iki farklı HRT sürelerinde belirli bir fark yoktur. Yüksek iletkenlik değeri, yüksek tuzluluk ve yüksek mineral içeriğine dayanmaktadır. Arıtmadan sonra iletkenlikte azalma olduğu gözlemlenmiştir fakat azalma çok düşük seviyelerdedir. Tuz, nitratlar, amonyum ve katyonların uzaklaştırılmasının belirli bir oranda

sağlandığı görülmektedir [27]. HRT 1 günde elektriksel iletkenlik değerleri yakın seviyelerde seyretmiş, HRT 2,5 günde elektriksel iletkenlikte dalgalanmalar görülmektedir. Farklı HRT sürelerinde E.İ. değerlerinin değişimi Tablo 4’de verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde E.İ. değerlerinin değişimi Şekil 5 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.

Tablo 4. HRT sürelerinde E.İ. değerlerinin değişimi

Elektriksel İletkenlik (µS/cm)		Giriş	Çıkış	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	728	592	HRT=2,5 gün	2,5. Gün	915	571
	2. Gün		564		5. Gün		609
	3. Gün		607		7,5. Gün		542
	4. Gün		573		10. Gün		523
	5. Gün		598		12,5. gün		628



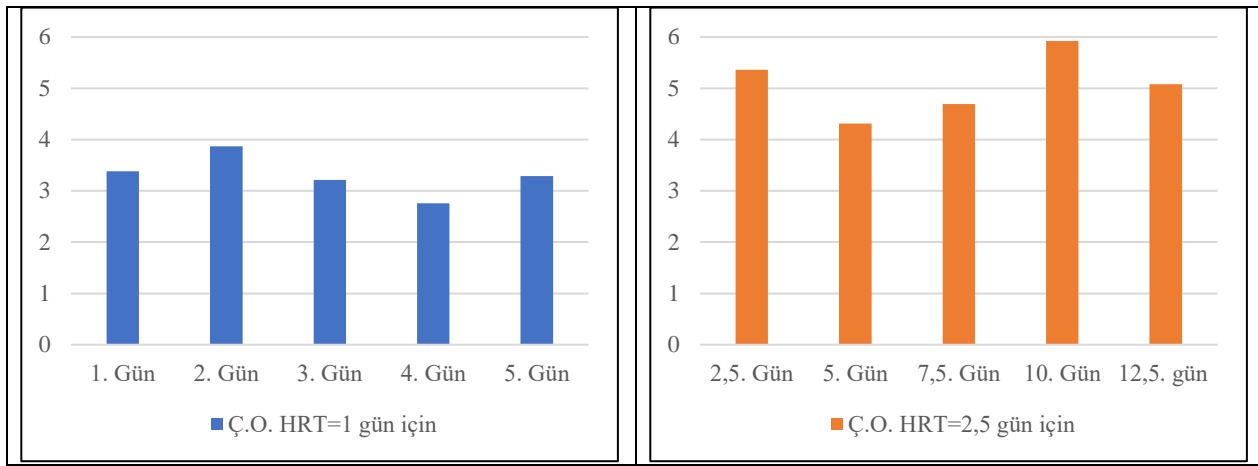
Şekil 5. a) HRT 1 günde E.İ. değişimi b) HRT 2,5 günde E.İ. değişimi

3.2.3. Çözünmüş Oksijen Değerleri

Çözünmüş oksijen ölçüm sonuçları 1 gün’lük ve 2.5 gün’lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 2.76-3.87 mg/L, 4.31-5.92 mg/L aralığında ölçülmüştür (Tablo 5). Çözünmüş oksijen, biyolojik süreçler üzerindeki etkisi ve havalandırma ile ilgili enerji tasarrufu nedeniyle günümüzde kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir [28]. AKR sistemi çözünmüş oksijen miktarını 2 mg/L üzerinde tutabilmiştir. 1 günlük HRT’de ölçülen değerlerde 2. gün ölçümünden sonra 4. gün ölçümüne kadar bir düşüş yaşanmıştır. 1 günlük ölçümlerde elde edilen tüm sonuçlara bakıldığında yakın değerler elde edilmiştir. 2.5 günlük HRT çalışmasından elde edilen çözünmüş oksijen sonuçlarında 1 günlük HRT’ye kıyasla oksijen miktarları mg/L cinsinden daha yüksek çıkmıştır. 2.5 günlük HRT’nin 10. gün ölçümünde maksimum değer ölçülmüştür. Genel olarak bakıldığında havalandırmanın daha fazla gerçekleştiği 2.5 gün’lük HRT süresince çözünmüş oksijen miktarı yüksek sonuçlar vermiştir. Farklı HRT sürelerinde Ç.O. değerlerinin değişimi Tablo 5’de verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde Ç.O. değerlerinin değişimi Şekil 6 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.

Tablo 5. HRT sürelerinde Ç.O. değerlerinin değişimi

Çözünmüş Oksijen (mg/L)		Giriş	Çıkış	Çözünmüş Oksijen (mg/L)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	0,47	3.38	HRT= 2.5 gün	2.5. Gün	0,58	5.36
	2. Gün		3.87		5. Gün		4.31
	3. Gün		3.21		7.5. Gün		4.69
	4. Gün		2.76		10. Gün		5.92
	5. Gün		3.29		12.5. gün		5.08



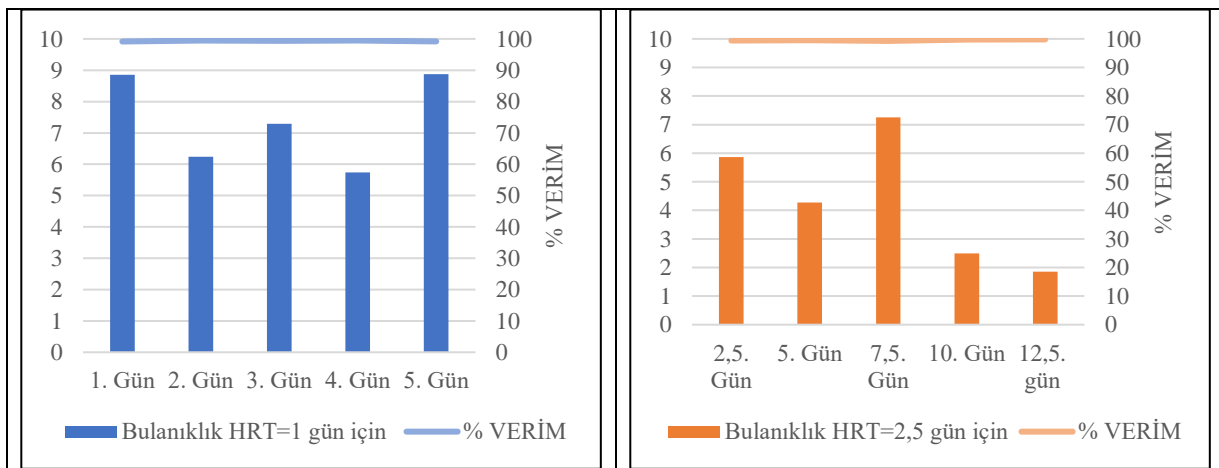
Şekil 6. a) HRT 1 günde Ç.O. değişimi b) HRT 2.5 günde Ç.O. değişimi

3.2.4. Bulanıklık Değerleri

Bulanıklık sonuçları 1 gün'lük çalışma diliminde 5.74-8.87 NTU ve 2.5 gün'lük çalışma dilimindeyse 1.86-7.25 NTU değerlerinde gözlemlenmiştir (Tablo 6.). Bu çalışmada, önemli ölçüde bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Her iki HRT sürecinde arıtım verimi %99 olarak ölçülmüştür. 2.5 gün'lük çalışmada çökeltme fazının artmış olmasıyla bulanıktaki azalma daha yüksek bir çökeltme reaksiyon süresi kullanıldığında bulanıklığın daha iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Reaktörde arıtılan gri su numunesinin bulanıklığı çok yüksek olmasına rağmen AKR reaktöründe arıtım sonrası elde edilen sonuçlarda yüksek seviyelerde verim elde edilmiştir. Farklı HRT sürelerinde bulanıklık değerlerinin değişimi Tablo 6'da verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde bulanıklık değerlerinin değişimi Şekil 7 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Tablo 6. HRT sürelerinde bulanıklık değerlerinin değişimi

Bulanıklık (NTU)		Giriş	Çıkış	Bulanıklık (NTU)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	1100	8.85	HRT= 2.5 gün	2.5. Gün	1018	5.87
	2. Gün		6.24		5. Gün		4.27
	3. Gün		7.29		7.5. Gün		7.25
	4. Gün		5.74		10. Gün		2.49
	5. Gün		8.87		12.5. gün		1.86



Şekil 7. a) HRT 1 günde bulanıklık değişimi b) HRT 2.5 günde bulanıklık değişimi

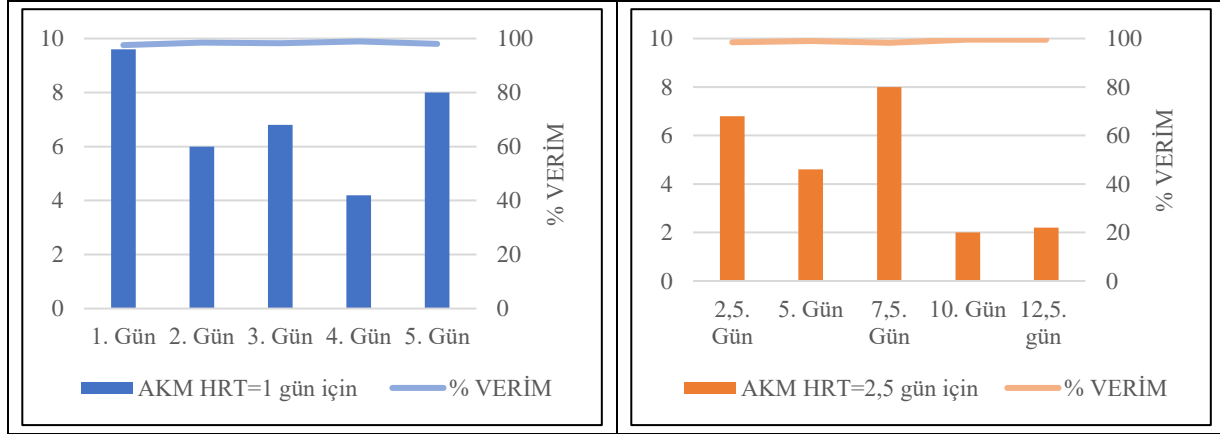
3.2.5. Askıda Katı Madde Değerleri

Askıda katı madde (AKM) değerleri 1 gün'lük ve 2.5 gün'lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 4.2-9,6 mg/L, 2-8 mg/L değerleri aralığında hesaplanmıştır. AKM'nin giderim performansı iyi çökeltme özelliklerine sahip flok oluşturan bakterilerin daha iyi büyümesinin sağlanması ile gerçekleşmektedir. AKR sisteminde HRT sürelerinin her iki çalışma şeklinde de AKM gideriminde yüksek arıtma verimi sağlanmıştır. 1 gün'lük çalışmaların sonucunda elde edilen arıtma verimi %98-99 iken 2.5 gün'lük çalışma sonrası elde edilen verim %98-100 olmuştur. Farklı HRT sürelerinde AKM

değerlerinin değişimi Tablo 7’de verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde AKM değerlerinin değişimi Şekil 8 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.

Tablo 7. HRT sürelerinde AKM değerlerinin değişimi

Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)		Giriş	Çıkış	Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	394	9.6	HRT= 2,5 gün	2.5. Gün	456	6.8
	2. Gün		6		5. Gün		4.6
	3. Gün		6.8		7.5. Gün		8
	4. Gün		4.2		10. Gün		2
	5. Gün		8		12.5. gün		2.2

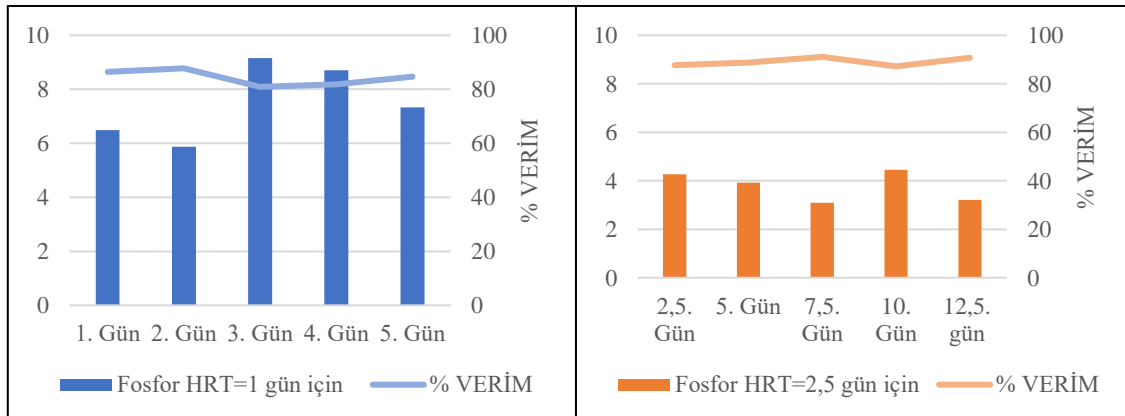


3.2.6. Fosfor Değerleri

Fosfor değerleri gözlemlenmesi sonucu 1 gün’lük HRT için 5.87-9.16 mg/L ve 2.5 gün’lük HRT için 3.09-4.45 mg/L değerleri elde edilmiştir. Gri su bünyesinde bulunan fosforun reaktördeki biyokütleyle karışması ve çökme fazıyla fosforu bünyesinde bulunduran PAO (phosphorus accumulation organisms) mikroorganizmasının varlığı fosforun giderimini sağlamaktadır [29]. Fosfor gideriminde esas olan bu bakterilerin gelişmesini sağlamaktır. Farklı HRT sürelerinde fosfor değerlerinin değişimi Tablo 8’de verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde fosfor değerlerinin değişimi Şekil 9 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.

Tablo 8. HRT sürelerinde fosfor değerlerinin değişimi

Fosfor (mg/L)		Giriş	Çıkış	Fosfor (mg/L)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	48.05	6.49	HRT= 2.5 gün	2.5. Gün	34.75	4.27
	2. Gün		5.87		5. Gün		3.92
	3. Gün		9.16		7.5. Gün		3.09
	4. Gün		8.7		10. Gün		4.45
	5. Gün		7.33		12.5. gün		3.21



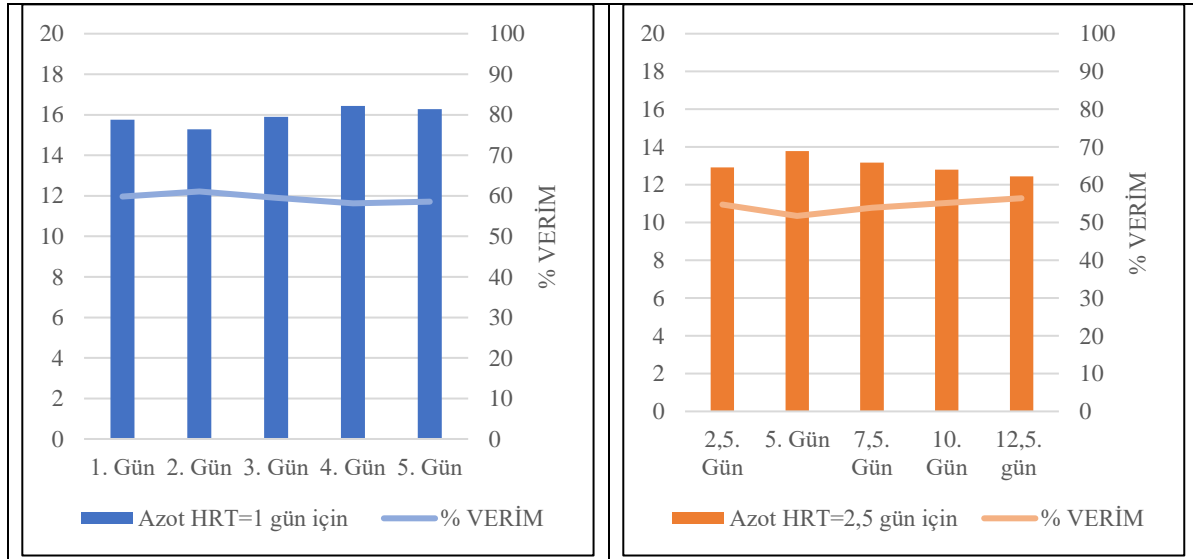
HRT 1 gün olduğunda çalışmaların sonucunda elde edilen verim %81-86, HRT 2.5 gün olduğunda elde edilen verim %87-91 olmuştur (Şekil 9). HRT 2.5 günde fosfor değerlerinde HRT 1 güne kıyasla daha düşük değerler elde edilmiştir. Verim hesaplamasında da HRT 2.5 günlük çalışmada verim daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Tasarlanmış olduğumuz laboratuvar ölçekli pilot tesis fosfor giderimde iyi bir fosfor giderimi sağlamıştır.

3.2.7. Azot Değerleri

Azot değerleri, HRT 1 gün'lük ve HRT 2.5 gün'lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 15.28-16.43 mg/L, 12.8-13.79 mg/L aralığında analiz edilmiştir (Tablo 9). Azot giderimi, iki HRT sürelerinde de yaklaşık aynı performansa sahiptir. AKR prosesinde yüksek verimli azot giderimi sağlanamamıştır. HRT 1 gün olan çalışmadan elde edilen verim %52-56, HRT 2.5 gün olan çalışmalardan elde edilen verim ise %58-61 olmuştur. Azotun gri sudan uzaklaştırılması için mekanizma, azotun aerobik bakteriler tarafından yok edilmesinden kaynaklanmaktadır [30]. Farklı HRT sürelerinde azot değerlerinin değişimi Tablo 9'da verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde azot değerlerinin değişimi Şekil 10 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Tablo 9. HRT sürelerinde azot değerlerinin değişimi

Azot (mg/L)		Giriş	Çıkış	Azot (mg/L)		Giriş	Çıkış
HRT=1 gün	1. Gün	39.25	15.76	HRT=2.5 gün	2.5. Gün	28.58	12.92
	2. Gün		15.28		5. Gün		13.79
	3. Gün		15.9		7.5. Gün		13.18
	4. Gün		16.43		10. Gün		12.8
	5. Gün		16.27		12.5. gün		12.45



AKR sisteminin aerobik fazlarında verilen havanın miktarı ve HRT sürelerinin çeşitliliğinden kaynaklanan havalandırma aşamasının saat olarak iki farklı zaman diliminde gerçekleşmesi azot giderimini etkilememiştir. 2.5 günlük HRT'de elde edilen sonuçlar HRT 1 günde elde edilenlere göre biraz daha düşük seviyelerdedir. İki farklı HRT için arıtma verimine bakıldığı zamanda, elde edilen değerlerin mg/L olarak aralıkları ve verimleri yaklaşık sonuçlar vermiştir. Kullanılan AKR reaktörü azot gideriminde yetersiz kalmıştır.

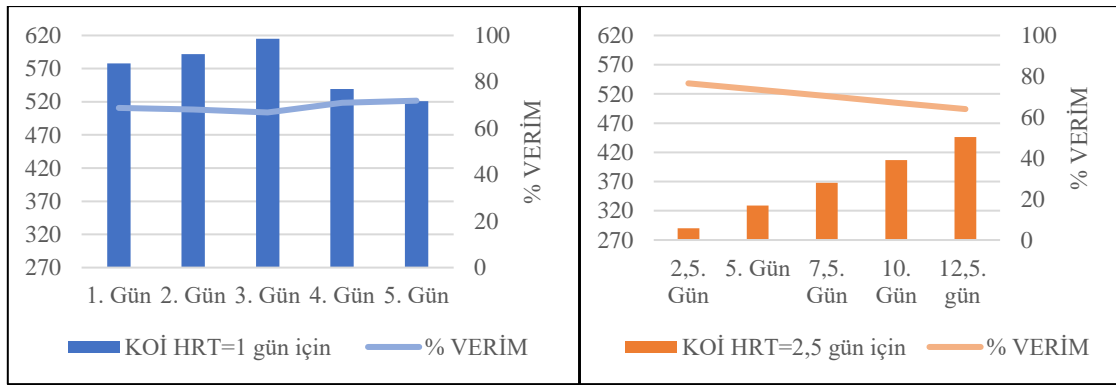
3.2.8. Kimyasal Oksijen İhtiyacı Değerleri

Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOİ)'nin laboratuvar ölçekli pilot tesise ait giderim verimleri HRT 1 gün olduğunda 521-615 mg/L iken HRT 2.5 gün olduğunda 290-446 mg/L aralığında olmuştur. Farklı HRT sürelerinde KOİ değerlerinin değişimi Tablo 10'da verilmiştir. Farklı HRT sürelerinde KOİ değerlerinin değişimi Şekil 12 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. KOİ, çözültide bulunan inorganik ve organik maddelerin reaksiyonları ile kullanılabilir oksijen miktarının bir göstergesidir [31]. HRT 1 günlük çalışmada 3. güne kadar değerlerde bir yükselme yaşanmış 4. günde bir düşüş yaşanmış ve 5. günde HRT 1 gün için min. değer elde edilmiştir. Elde edilen değerler sonucu verim ise HRT 1 gün için %66-71 aralığındadır (Şekil 11.a.). HRT 2,5 günde elde edilen sonuçlarda ilk ölçümde her iki HRT süresi için min. değer elde edilmiştir. HRT 2.5 günlük çalışmada 5. gün ölçümünden sonra değerlerde sürekli bir artış yaşanmıştır. Elde edilen verim ise doğru orantılı şekilde yüksek verimden azalan verime doğru düşüş yaşanmıştır. 2.5 günlük HRT için verim sonuçları %64-76 aralığında olmuştur (Şekil 11.b.). AKR sisteminin yapılmış olan analizler sonucunda ortalama verimi ise %61 olmuştur. Gri sudaki

KOİ, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerin varlığından kaynaklanmaktadır. HRT sürelerinden elde edilen sonuçlar gözden geçirildiğinde KOİ'nin giderim yüzdesinin havalandırmanın artmasıyla (HRT=2.5gün) arttığı veya başka bir deyişle biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin azaldığı görülmektedir.

Tablo 10. HRT sürelerinde KOİ değerlerinin değişimi

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)		Giriş	Çıkış	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)		Giriş	Çıkış
HRT= 1 gün	1. Gün	1854	578	HRT= 2.5 gün	2.5. Gün	1239	290
	2. Gün		592		5. Gün		329
	3. Gün		615		7.5. Gün		368
	4. Gün		539		10. Gün		407
	5. Gün		521		12.5. gün		446



Şekil 11. a) HRT 1 günde KOİ değişimi b) HRT 2.5 günde KOİ değişimi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, gri suyun arıtılması için ardışık kesikli reaktör (AKR) sistemi kullanılmıştır. Deneyler sonucunda test edilen ham gri suyun kirletici yükü yüksek konsantrasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Laboratuvar ölçekli pilot tesis HRT 1 gün ve HRT 2.5 gün olan çalışma koşulları ile çalıştırılmıştır. AKR arıtma tesisinin, fizikokimyasal özelliklerini (pH, Elektriksel İletkenlik, Çözünmüş Oksijen, Bulanıklık, AKM) önemli ölçüde standart seviyelere yakın düşük değerler elde edildiği gözlemlenmiştir. Gri suyun AKR ile arıtımında;

- 1 günlük HRT'de pH ortalama 7.32, 2.5 günlük HRT'de pH ortalama 7,76 değerinde sonuçlanmıştır.
- 1 günlük HRT'de elektriksel iletkenlik ortalama 586.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2.5 günlük HRT'de elektriksel iletkenlik ortalama 574.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinde sonuçlanmıştır.
- 1 günlük HRT'de çözünmüş oksijen ortalama 3.30 mg/L, 2.5 günlük HRT'de çözünmüş oksijen ortalama 5.07 mg/L değerinde sonuçlanmıştır.
- 1 günlük HRT'de bulanıklık ortalama 7.39 NTU, 2.5 günlük HRT'de bulanıklık ortalama 4.34 NTU değerinde sonuçlanmıştır.
- 1 günlük HRT'de AKM ortalama 6.92 mg/L, 2.5 günlük HRT'de AKM ortalama 4.72 mg/L değerinde sonuçlanmıştır.

AKM giderimi en yüksek performans sergileyen parametre olmuştur. Ortalama AKM giderim verimi %99'dur. Bununla birlikte bulanıklık parametresi için de yüksek bir arıtma verimi (%99-100) elde edilmiştir.

- 1 günlük HRT'de fosfor ortalama 7.51 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %84 olmuştur, 2.5 günlük HRT'de fosfor ortalama 3.79 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %89 olmuştur.
- 1 günlük HRT'de azot ortalama 15.92 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %59 olmuştur, 2.5 günlük HRT'de azot ortalama 13,02 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %54 olmuştur.
- 1 günlük HRT'de KOİ ortalama 569 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %69 olmuştur, 2.5 günlük HRT'de KOİ ortalama 368 mg/L olarak ölçülmüş arıtım verimi ise %70 olmuştur.

Genel olarak AKR reaktörü ölçümü yapılmış bazı parametreleri belli seviyelere indirebilmiştir. Hidrolik reaksiyon sürelerindeki artış bazı parametrelerde verimli sonuçlar çıkarmıştır. Özellikle havalandırma süresindeki artış bir çok

parametrede olumlu sonuçlar çıkarmıştır. Artmış olduğumuz gri su, suya veya toprağa boşaltıldığında Türk yasaları kapsamında nispeten kriterleri sağlayabilmiştir [32-33]. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'nde, toplam azot konsantrasyonlarıyla ilgili sınır değerler bulunmamaktadır [32]. Bununla birlikte, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde ileri arıtma prosesleri çıkış sularında toplam azot konsantrasyonu için sınır değer 15 mg/L olarak belirtilmiştir [33]. HRT 2.5 gün'de olduğunda 15mg/L'nin altında değerler elde edilmiştir. Havalandırmanın daha uzun olması azot miktarında düşüş sağlamıştır. WHO'ya göre (2006) , KOİ'si 100 mg/L'nin altında olan arıtılmış sular sulama amaçlı kullanım için uygundur [34]. Tüm ölçümler gözden geçirildiğinde KOİ değeri hiçbir ölçümde 100 mg/L'nin altında ölçülmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın ortaya çıkması için gerekli olan maddi destek Sakarya Üniversitesi BAPK tarafından karşılanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Huang, Z., Yuan, X., Liu, X. (2021). One of the key drivers of changes in global water scarcity: withdrawal and water availability, *Journal of Hydrology*, 601, 126658.
- [2] Kummu, M., Guillaume, J.H.A., Moel, H.D., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T.I.E., Ward, P.J. (2016). The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability, *Scientific Reports*, 6(1), 38495.
- [3] Liu, S., Butler, D., Memon, F.A., Makropoulos, C., Avery, L., Jefferson, B., (2010). Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system, *Water Research*, 44(1), 267-277.
- [4] Hristov, Ü., Barreiro-Hurle, I., Salputra, G., Blanco, M., Witzke, P., (2021). Reuse of treated water in european agriculture: the potential to relieve water scarcity under climate change, *Agricultural Water Management*, 251, 106872.
- [5] Boyer, A., Lay, Y., Marthy, P., (2021). Coping with scarcity: the construction of the water conservation mandate in newspapers (1992-2008), *Global Environmental Change*, 71, 102387.
- [6] Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U., (2013). Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: Çevresel perspektif, *İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği- Doğa Koruma Merkezi*, 8, 9.
- [7] Patil, Y.M., Munavalli, G.R., (2016). Performance evaluation of an integrated on-site greywater treatment system in a tropical region, *Ecological Engineering*, 95, 492-500.
- [8] Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., (2002). Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, 4(1), 85-104.
- [9] Al-Geethi, A.A., Efaq, A.N., Bala, J.D., Norli, İ., Abdel-Monem, M.O., Ab.Kadir, M.O., (2018). Removal of pathogenic bacteria from sawage-treated effluent and biosolids for agricultural purposes, *Applied Water Science*, 8(2), 1-25.
- [10] Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., Friedler, E., (2015). *Greywater Reuse*, (CRC Press).
- [11] Khanam, K., Patidar, S.K., (2022). Greywater characteristics in developed and developing countries, *Materials Today: Proceedings*, 57, 1494-1499.
- [12] Morel, A., Diener, S., (2006). Grey water management in low and middle-income countries water and sanitation in developing countries (Sandec), *Swiss Federal institute of Aquatic Science and Technology*.
- [13] Üstün, G., Tırpancı, A., (2015). Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119-139.
- [14] Chen, M., Ding, S., Lin, J., Fu, Z., Tang, W., Fan, X., Gong, M., Wang, Y., (2019). Seasonal changes of lead mobility in sediments in algae-and macrophyte-dominated zones of the lake, *Science of The Total Environment*, 660, 484-492.
- [15] Marin, J.C.A., Caravelli, A.H., Zaritzky, N.E., (2016). Nitrification and aerobic denitrification in anoxic-aerobic sequencing batch reactor, *Bioresource Technology*, 200, 380-387.

- [16] Kolecka, K., Gajewsha, M., Cyawa, S., Stephowski, P., Caban, M., (2020). Is sequential batch reactor an effective technology to protect against non-steroidal anti-inflammatory drugs and paracetamols in recipient-treated Wastewater, *Bioresource Technology*, 318, 124068.
- [17] Akın, B.S., Uğurlu, A., (2005). Monitoring and control of biological nutrient removal in a sequencing batch Reactor, *Process Biochemistry*, 40(8), 2873-2878.
- [18] Lamine, M., Bousselmi, L., Ghrabi, A., (2007). Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor, *Desalination*, 215(1-3), 127-132.
- [19] Leal, L.H., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., (2010). Comparison of three system for biological greywater treatment, *Water*, 2, 155-169.
- [20] Khuntia, H.K., Sushmitha, M.B., Hameed, S., Janardhana, N., Karthik, M.G., Madhuri, K.S., Chanakya, H.N., (2021), Bench scale demonstration of greywater treatment in a 3-stage sequential process comprising anaerobic, aerobic, and vertical greenery system, *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102246.
- [21] Rakesh, S.S., Ramesh, P.T., Murugaragavan, R., Avudainayagam, S., Karthikeyan, S., (2020). Characterization and treatment of grey water: A review, *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 34-40.
- [22] Ghaitidak, D.M., Yadav, K.D., (2013). Characteristics an treatment of greywater - a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795-2809.
- [23] Turner, R.D.R., Warne, M.S.J., Deniz, L.A., Thompson, K., Vasiyet, G.D., (2019). Greywater irrigation as a source of organic micro- pollutants to shallow groundwater and nearby surface water, *Science of The Total Environment*, 669, 570-578.
- [24] Shaikh, I.N., Mansoor Ahammed, M., (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: A review, *Journal of Environmental Management*, 261, 110266.
- [25] Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Chaechousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, Koumaki, I., E., (2018). Greywater characterization and loading – physicochemical treatment to promote onsite reuse, *Journal of Environmental Management*, 216, 337-346.
- [26] A.A. Pathan, R.B. Mahar, K. Ansari, (2011), Preliminary study of greywater treatment througy rotating biological contactor, *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 30(3), 531-538.
- [27] Lamichhane, J., Upadhyaya, B.B., Chalise, N., Makaju, S., (2011). Evaluation of waste water treatment units located at different parts of Nepal, *Nepal Jordan of Science and Technology*, 12, 201-210.
- [28] Traore, A., Grieu, S., Puig, S., Corominas, L., Thiery, F., Polit, M., Colprim, J., (2005). Fuzzy control of dissolved oxygen in a sequencing batch reactor pilot plant, *Chemical Engineering Journal*, 111(1), 13-19.
- [29] Manav, N., (2006). Ardişik kesikli reaktör ile evsel atıksulardan azot ve fosfor giderimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [30] Krishnan, V., Ahmad, D., Jeru, J.B., (2008), Influence of COD:N:P ratio on dark greywater treatment using a sequencing batch reactor, *Journal of Chemical Technology and Biorechnology*, 83(5), 756-762.
- [31] Mousazadeh, M., Niaragh, E.K., Usman, M., Khan, S.U., Sandoval, M.A., Al-Qodah, Z., Khalid, Z.B., Gilhotra, V., Emamjomeh, M.M., (2021). A critical review of state-of-the-art electrocoagulation technique applied to COD-rich industrial wastewaters, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43143-43172.
- [32] SKKY, (2008). Su kirliliği kontrol yönetmeliği, Tablo 22. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği* (mevzuat.gov.tr) Erişim Tarihi: 08.11.2022
- [33] KAAAY, (2006). Kentsel atıksu arıtımı yönetmeliği, Tablo 1, Tablo 2. *Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği* (mevzuat.gov.tr) Erişim Tarihi:08.11.2022.
- [34] WHO, (2006). World Health Report 2006: Working together for health, *World Health Organization*.