



## GÜL İŞLEME ATIK SUYUNUN SU BÖRÜLCESİ (*SALVANIA NATANS*) BİTKİSİ İLE ARITIMI

Özlem SELÇUK KUŞÇU\*, Perihan KÜÇÜK

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Doğal Arıtma,  
Gül İşleme Atıksuyu,  
Su Börülcesi.

### Öz

Gül işleme sonrasında meydana gelen gül atık suyu yüksek debilere ve kirlilik yüküne sahiptir. Bu tür atık suların farklı bölgelere yayılmış olması arıtma tesislerinde arıtımı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle mevcut arıtım yöntemlerinden farklı olarak alternatif arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada gül işleme sonrası açığa çıkan gül atık suyunun farklı renk led ışık kaynaklarında su börülcesi su bitkisi ile doğal arıtımı araştırılmıştır. Çalışma, altı farklı renk led ışık ortamında, 20 °C'de ve 200 mL hacminde kavanozlarda gerçekleştirilmiştir. Gül atık suyu arıtım verimleri, önemli deşarj parametreleri olan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) parametreleri ölçülerek değerlendirilmiştir. Optimum süre olan 14 günün sonunda beyaz led ışık ortamında su börülcesi ile arıtım sonrası atık suyun KOİ giderim verimi %69, ÇKOİ giderim verimi %71, azot giderim verimi %72 ve fosfor giderim verimi %83 olarak bulunmuştur. Araştırmalar beyaz led ışık altında diğer ışık kaynaklarından daha yüksek arıtım verimi elde edildiğini göstermiştir. Su börülcesi ile gül atıksuyu arıtım verimleri farklı renk led ışık kaynaklarına göre sırası ile beyaz > mavi > yeşil, > sarı > kırmızı > karanlık şeklindedir.

## TREATMENT OF ROSE PROCESSING WASTEWATER WITH *SALVANIA NATANS* PLANT

### Keywords

Natural Treatment,  
Rose Processing Wastewater,  
*Salvania Natans*.

### Abstract

Rose wastewater generated after rose processing has high flow rates and pollution load. The fact that such wastewater is spread over different regions makes treatment in treatment facilities difficult. Therefore, alternative treatment methods are needed, unlike existing treatment methods. In this study, the natural treatment of rose processing wastewater released during the processing of rose flowers in the rose processing industry was investigated with the aquatic plant *Salvania natans* under different color led light sources. The study was carried out in six different color led light environments, at 20 °C and in 200 mL jars. Rose wastewater treatment performance was evaluated by measuring the discharge parameters: chemical oxygen demand (COD), dissolved chemical oxygen demand (DCOD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP). At the end of 14 days, the COD removal efficiency of the wastewater after treatment with *Salvania natans* in the white led light environment was found to be 69%, DCOD removal efficiency 71%, nitrogen removal efficiency 72% and phosphorus removal efficiency 83%. Research has shown that white led light has higher efficiency than other light sources. It has been determined that the efficiency order according to different color led light sources is white > blue > green, > yellow > red > dark.

### Alıntı / Cite

Selçuk Kuşçu, Ö., Küçük, P., (2024). Gül İşleme Atıksuyunun Su Börülcesi (*Salvania Natans*) Bitkisi ile Arıtımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(1), 230-240

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö Selçuk Kuşçu, 0000-0001-9172-8619  
P. Küçük, 0000-0002-3380-8239

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.12.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.03.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2024

\* İlgili yazar/Corresponding author: ozlemkuscu@sdu.edu.tr, +90-246-211-1288

## TREATMENT OF ROSE PROCESSING WASTEWATER WITH SALVANIA NATANS PLANT

Özlem SELÇUK KUŞÇU<sup>†</sup>, Perihan KÜÇÜK

Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Dep. of Environmental Engineering, Isparta, Turkey

---

### Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

---

- Different LED light sources affected the treatment efficiency of *Salvania Natans* plant
  - COD, DCOD, TN and TP efficiency were highest in white LED light
  - Efficiency increased slightly in two-stage treatment
  - Rose wastewater was treated on-site and effectively with *Salvania Natans* plant
- 

### Purpose and Scope

The purpose of this study is to provide an effective treatment that is easy to operate, does not require energy, and is low cost, in the treatment of rose processing wastewater, which is difficult and costly to treat. For this purpose, the treatment performance of rose wastewater with *Salvania natas* plant was evaluated under different LED light conditions. Furthermore, the effect of two-stage treatments on efficiency was tested in this study.

### Design/methodology/approach

An incubator dedicated to six different color LED light environments was used in this study. The incubator was kept at a constant temperature of 20°C throughout the experiment. A continuous air flow was provided to the glass jars with the aeration system installed inside the incubator. Different color LED lights used in the study were placed on top of each compartment and at equal distances. 5 g of *Salvania natas* plant was added to each of 6 glass jars with a volume of 500 mL and initial and post-COD, DCOD, TN and TP values were determined.

### Findings

COD, DCOD, TN and TP removal efficiencies are 69%, 71%, 72% and 83%, respectively, under white light at the end of the 14-day treatment period. Removal efficiencies under different color lights are listed as white > yellow > green > red > blue > dark environment. In the first stage treatment, which lasted 14 days, the COD removal efficiency was 67%, while in the second stage, the COD removal efficiency increased by 7%. At the end of the 14<sup>th</sup>, the TN and TP removal efficiencies were 71% and 69%, respectively. With the addition of the second stage, TN removal efficiency increased by 3% and TP increased by 11%.

### Research limitations/implications

Although the treatment efficiency is quite high, When the process efficiency meets discharge standards, it may be insufficient when used alone. It can be applied as preliminary treatment or secondary treatment. The amounts of rose wastewater resulting from real-time production are much higher than those used in laboratory studies. In order for the study to be translated into practice, it needs to be analyzed on a large scale. Future studies can be done in large pools equipped with LED light sources and with real wastewater amounts.

### Practical implications

Rose wastewater can be treated naturally with high purification efficiencies under white light using *the Salvania Natans* plant. To increase treatment efficiency, two-stage treatment can be performed and discharge standards can be achieved in this way.

### Social Implications (if applicable)

This study provides an effective and practical process for treating rose wastewater, which causes significant environmental problems during rose processing. As a result of this study, a solution has been found for the treatment of rose wastewater, which is an important problem of rose processing facilities, and social contribution will be made in this regard.

### Originality

Studies on the treatment of rose waste with *Salvania Natans* plant using LED light sources of different colors have not yet been found in the literature. This study is the first in the literature regarding its subject and will make significant contributions to the literature.

---

<sup>†</sup> Corresponding author: ozlemkuscu@sdu.edu.tr, +90-246-211-1282

## 1. Giriş (Introduction)

Gül çiçeği üretimi yapan en önemli ülkeler Türkiye ve Bulgaristan'dır. Dünya gül yağı talebinin %50'si Türkiye'den, %40'ı Bulgaristan'dan ve geri kalan %10'u Hindistan, İran, Fas, Afganistan gibi diğer ülkelerden karşılanmaktadır (Güler, 2010). Isparta Türkiye'de üretilen yağ gülü üretiminin %80'nini karşılamaktadır (Bilir, 2010). Üretilen gül çiçeklerinin yaklaşık %90'ı gül yağı, gül suyu, konkret ve absolüt üretmek için distilasyon veya ekstraksiyon işlemlerine tabi tutulmaktadır. Gül çiçeğinin işlenmesi esnasında kullanılan suyun yaklaşık 2/3'ü atıksu olarak prosesten çıkmaktadır. Proses sonrası atık suyun KOİ 9500 mg/L ve Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) 950 mg/L, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) 100 mg/L ve TP 5 mg/L mertebesindedir (Avşar vd., 2005).

Gülyağı işletimi sonrasında oluşan atıksular hiçbir önlem alınmaksızın deşarj edilmekte ya da biriktirme çukurlarında toplanarak sızma ve buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılmaktadır (Tosun vd., 2002). Türkiye'de gülyağı üretimi sonrası oluşan atıksular bahar mevsiminde yılda sadece 45 gün oluşmaktadır. Gülyağı üretim tesislerinin günlük konumları ve sezonluk çalışmaları süreç sonrası oluşan atıksuların artırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu tür atıksuların artırılmasında kesikli ya da yerinde arıtım modellerinin uygulanması daha akılcı bir yaklaşım olmaktadır. Gül atık sularının arıtımına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çeşitli arıtım uygulamaları araştırmacılar tarafından çalışılmasına rağmen bu konudaki araştırmalar oldukça yetersizdir. Avşar vd., 2007; gül atıksularının artırılmasında klasik kimyasal ve elektrokimyasal metotları uygulamışlar ve elektrokimyasal yöntemin oldukça etkili olduğunu bulmuşlardır. Elektrokimyasal yöntemle KOİ de % 79,8 ve bulanıklıkta 81,4 % verim elde etmişlerdir. İleri arıtım teknikleri bu tür atıksuların arıtımında etkili bir performans göstermesine rağmen yüksek ilk yatırım maliyeti ve işletme masrafları, enerji ve kimyasal gereksinimi, nitelikli eleman ihtiyacı gibi dezavantajları nedeniyle tam ölçekte kullanımları oldukça sınırlıdır. Bu olumsuz koşullar günümüzde enerji ve personel ihtiyacı gerektirmeyen düşük maliyetli doğal arıtma sistemlerinin kullanılması gerekliliğini düşündürmektedir (Demirörs, 2006; Akten vd., 2008).

Atıksuların arıtılmasında maliyeti en düşük ve çevre dostu arıtma şekli olarak bilinen biyolojik sistem doğal arıtmadır (Akten vd., 2008; Lee vd., 2010). Yeşil bir arıtma teknolojisi olarak inşa edilmiş sulak alanlar (Saeed ve Sun, 2012) birçok avantaja sahiptir: Düşük inşaat ve bakım maliyeti, düşük enerji gereksinimleri, düşük çamur üretimi, organik yüklemelerdeki değişiklikleri tolere edilebilmesi gibi avantajları onları geleneksel atıksu arıtma sistemlerine kıyasla daha üstün kılmıştır (Yavaş, 2017; Dan vd., 2011). Ayrıca, inşa edilmiş sulak alan sistemleri, yaban hayatı değerleri ve kullanılabilir bitki biyokütlesinin üretimi de dahil olmak üzere çok işlevli olabilmektedir (Dan vd., 2011). Doğal arıtma sistemleri, atık sudaki AKM, N, P, BOİ ve KOİ gibi parametreleri arıtmanın yanı sıra çıkış suyunun özellikle tarımsal sulamada kullanımı gibi avantajları da sunmaktadır (Erol, 1997). Su bitkileri ile doğal arıtma sistemleri ayrıca patojen gideriminde de etkilidir (Uysal, 1998). Tüm bu avantajlara rağmen en büyük dezavantajı büyük araziler gerektirmeleridir (Karagöz, 1998). Özellikle arıtılmış suyun hedef deşarj kriterlerine ulaşmak için birden fazla sulak alanın bulunduğu durumlarda alan ihtiyacı artmaktadır (Bruch vd., 2011). Doğal olarak arıtılan atık su, alıcı ortama doğrudan arıtılmış su olarak verilmektedir (Yavaş, 2017). Ülkemizde doğal arıtma tesislerinden çıkan atık suların AKM ve KOİ giderimi yeterli olabilmekte, ancak azot fosfor içerikli atık suların alıcı ortamda ötrofikasyona neden olması sebebiyle doğal arıtma tesislerinin azot-fosfor giderimi önemli bir kriter olmaktadır (Yavaş, 2017). Sulak alanlar sudaki kirletici maddeleri uzaklaştırmak için biyolojik süreçlerin yanı sıra fiziksel ve kimyasallar da dahil olmak üzere çok sayıda mekanizmayı içinde barındırır (Lee vd., 2010). Su bitkileri kullanılarak arıtma genellikle serbest yüzey akımlı atıksu arıtma sistemlerine benzemektedir. Bu sistemlerde arıtma, bitki köklerine yapışık olarak yaşayan aerobik mikroorganizmaların çözünmüş organikleri ayrıştırmasıyla veya bitkilerin kökleri vasıtasıyla inorganik formdaki kirleticileri kullanmasıyla sağlanmaktadır (Tübitak MAM, 2011). Su bitkileri tarafından nütrient uzaklaştırma etkinliği ışık, sıcaklık, mevsim, hidrolik yükleme, pH, bitki hasadı ve diğer besin maddelerinin mevcudiyeti gibi parametrelere bağlıdır. Bu faktörler çeşitli bitki türlerine göre farklılık gösterebilir (Ansari vd., 2011). Bu nedenle, belirli bir atık su arıtımı için bitki seçiminin yapılması ve çevresel faktörlerin belirlenmesi önemli bir yaklaşımdır. Uzun yıllardan beri bahçe bitkileri ve tarımsal üretimde yapay ışık kaynaklarından yararlanılmaktadır. Bitkisel üretimde verim ve kaliteyi artırmak, bitki büyümesini teşvik etmek, kalite ve verimde homojenlik sağlamak, bitkilerin vejetatif ve generatif dönemlerinde fotoperiyot zamanlarını ayarlamak, bitkilerin morfolojik ve fitokimyasal olaylarını düzenlemek gibi birçok farklı amaçla ışık kaynakları kullanılabilir (Çakırcı vd., 2017). Ayrıca bitkiler ışık renklerine karşı da farklı duyarlılığa sahiptir. Bitkisel üretimde çeşitli ışık kaynakları bu amaç için kullanılmasına rağmen son yıllarda yaygın olarak kullanılan ışık kaynağı bazı avantajlarından dolayı led lambalardır (Çakırcı vd., 2017). Önder (2019), yapmış olduğu çalışmada tarımsal aydınlatmada led ışık kaynaklarının kullanım olanaklarını araştırmıştır. Çalışmada diğer lamba aydınlatma sistemlerinin yerine led sistemlerinin kullanılmasının önemli bir enerji tasarrufu sağlayacağı ve işletme maliyetlerini azaltacağı sonucuna varmıştır. Farklı led ışık kaynaklarını kullanarak bitki gelişimi üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmada mevcut literatürlerden farklı olarak gül işleme sonrası açığa çıkan gül atık suyunun farklı led ışık kaynakları etkisi altında su bürülcesi bitkisi kullanılarak arıtım performansı incelenecektir. Literatürde gül atık suyunun arıtılması konusunda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Farklı renkte led ışık kaynakları kullanılarak gül atık suyunun

bitkilerle arıtımına yönelik çalışmalara literatürde henüz rastlanılmamıştır. Bu çalışmada özellikle Isparta ili için katma değeri olan gülün işlenmesi sırasında açığa çıkan atık suyun su bürülcesi bitkisi kullanılarak doğal arıtma yöntemiyle arıtılması hedeflenmektedir. Gül işleme sonrasında meydana gelen gül atık suyu yüksek debilere sahiptir ve kirlilik yükü evsel atık suya kıyasla daha fazladır. Bu bakımdan bu çalışmada arıtımı zor ve maliyetli olan gül işleme atık suyunun arıtılmasında işletimi kolay, enerji ihtiyacı gerektirmeyen, maliyeti düşük ve etkili arıtım sağlayan yeni bir arıtım modeli önerilmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Gül İşleme Atık Suyunun Temini ve Karakteristik Özelliği (Supply of Rose Processing Wastewater and Characteristic Features)

Çalışmada kullanılan gül atıksuyu Isparta ili Senir Kasabası'nda bulunan Çamlı Gülyağı Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Gül atık suyu temini için bu tesisin seçilmesinin nedeni konumunun Isparta'ya yakın olmasıdır. Bu tesiste, Isparta'nın kuzeyinde bulunan yaklaşık 200.000 m<sup>2</sup>'lik alanı kapsayan tarlalardan toplanan gül çiçeği işlenmektedir. Tesis, 1000 kg gül çiçeğine 3 m<sup>3</sup> su olacak şekilde işletilmektedir. Bu tesiste senelik ortalama 160.000 kg gül çiçeği işlenirken 480 m<sup>3</sup> civarı gül atık suyu çıkmaktadır.

Laboratuvara getirilen gül atık suyu örneğinin pH, KOİ, ÇKOİ ve iletkenlik analizleri yapılarak gül atık suyunun karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan karakteristik analizler üç tekerrür şeklinde yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır (Tablo 1). Karakteristik özelliklerinin belirlenmesinin hemen ardından gül atık suyu +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

**Tablo 1.** Gül atık suyunun karakteristik özellikleri (Characteristic features of rose processing wastewater)

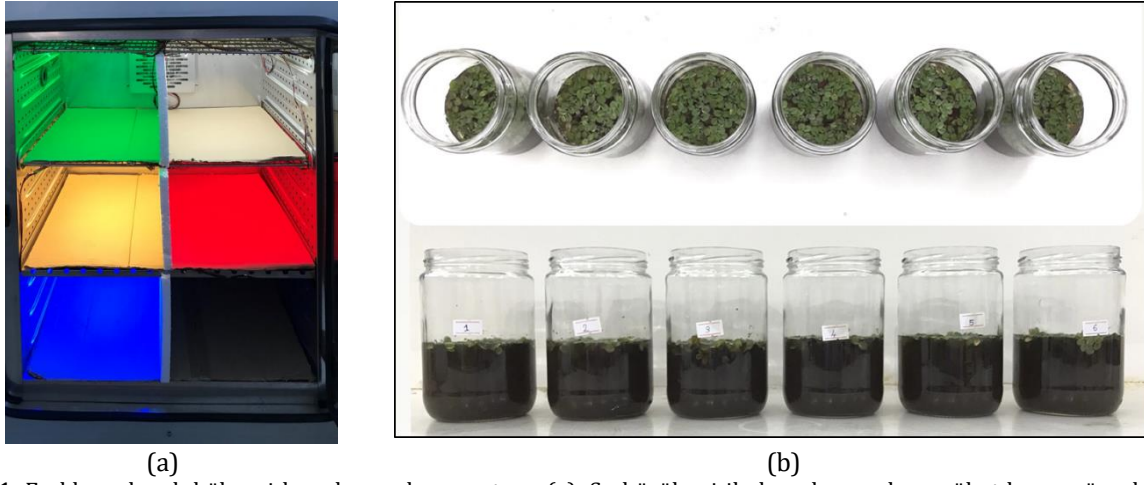
Parametreler	Değeri
pH	4,5±0,5
KOI (mg/L)	8391±640
ÇKOİ (mg/L)	8184±450
İletkenlik (µs/cm)	2,53±0,3
TN (mg/L)	81,4±8,2
TP (mg/L)	7,58±1,6

### 2.2. Su Bürülcesi Bitkisinin Temini (Supply of *Salvania Natans* Plant)

Bitkiler İstanbul'da su bitkileri satan bir firmadan temin edilmiştir. Temin edilen bitkiler tel süzgülere süzülerek suyunun çekilmesi beklenmiştir. Daha sonra su bitkileri aynı miktarda olacak şekilde tartımları yapılarak gül atık suyu bulunan cam kavanozların her birine eklenmiştir.

### 2.3. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Deneme, Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık ve Arıtma Çamurları Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Katı Atık ve Arıtma Çamurları Laboratuvarı'nda bulunan Binder marka KB serisi 240 model inkübatör modifiye edilerek deney düzeneği hazırlanmıştır. İnkübatör, yeşil, beyaz, sarı, kırmızı, mavi ve karanlık ortam olmak üzere altı farklı ışık ortamına ayrılmıştır. Denemede kullanılan inkübatör düzeneği Şekil 1 (a)'da gösterilmiştir. İnkübatör, deneme boyunca sabit sıcaklıkta, 20°C'de tutulmuştur. İnkübatörün içine kurulmuş olan havalandırma sistemi ile cam kavanozlara sürekli olarak hava akışı sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan farklı renk led ışıkları her bölmenin üstüne ve eşit uzaklıklarda yerleştirilmiştir. 500 mL hacime sahip olan 6 adet cam kavanozların her birine 5'er gr su bürülcesi bitkisi eklenmiştir. Su bürülcesi bitkisi ile hazırlanan deney kavanozları Şekil 1 (b)'de verilmiştir. Gül atık suyu ve *Su bürülcesi* bitkisi eklenen kavanozlar, farklı led ışık kaynakları bulunan inkübatöre yerleştirilmeden önce her birinden numune alınmıştır ve başlangıçtaki KOİ, ÇKOİ, TN ve TP değerleri belirlenmiştir. İnkübatöre yerleştirildikten sonra 14 gün boyunca beklemeye bırakılmıştır. 14 günlük bekleme süresi boyunca her iki günde bir KOİ analizi yapılarak giderim verimi değerlendirilmiş ve 14. günün optimum değer olduğu tespit edilmiştir. 14. günün sonunda kavanozlardan alınan örneklerde KOİ, ÇKOİ, TN ve TP analizleri yapılmıştır.



(a)

(b)

**Şekil 1.** Farklı renk ışık bölmesi hazırlanan deney ortamı (a), Su bürülcesi ile hazırlanmış ham gül atık suyu örnekleri (b) (Experimental environment prepared with different color light chambers (a), Raw rose wastewater samples prepared with *Salvinia natas* (b))

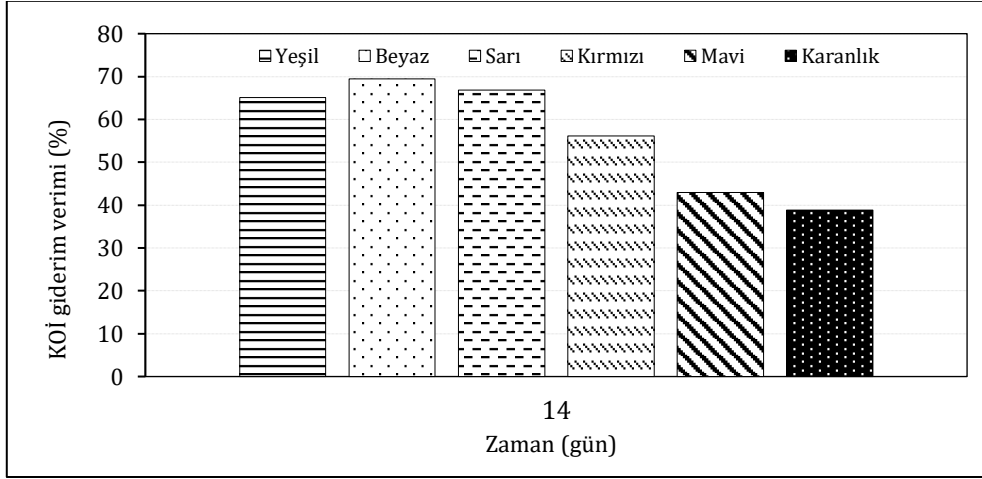
## 2.4. Analitik Metot (Analytical Method)

Çalışmanın değerlendirilmesi amacıyla TKOİ, ÇKOİ, TN, TP, pH, iletkenlik ve atıksu sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. TKOİ, ÇKOİ analizleri, APHA, 2005 metoduna göre, TN (LCK 338) ve TP (PO<sub>4</sub> - P) (LCK 350) Lange marka kitler kullanılarak Hach Lange marka DR6000 spektrofotometrede yapılmıştır (APHA, 2005). Analizler üç tekrerrür şeklinde yapılmış olup ortalama değerleri alınmıştır.

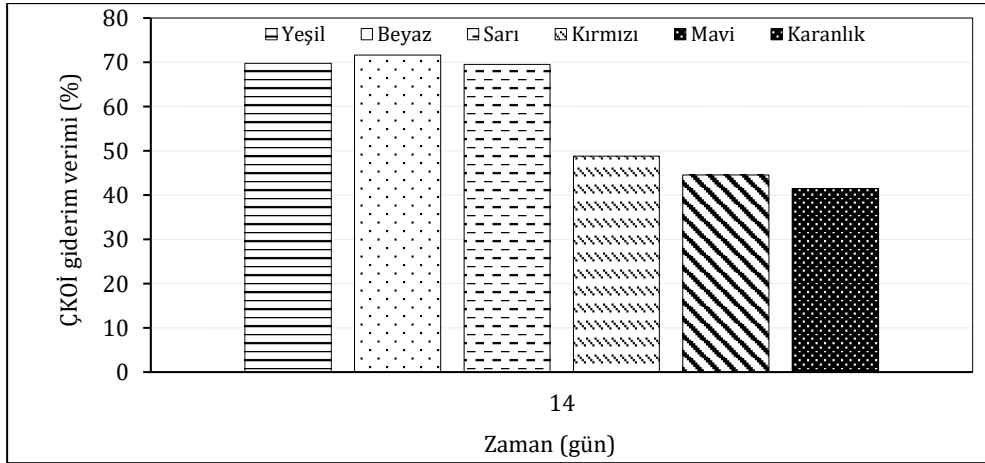
## 3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

### 3.1. TKOİ ve ÇKOİ Giderimi (TCOD and SCOD Removal)

Su bürülcesi bitkisi ile farklı renk ışık kaynakları altında elde edilen KOİ ve ÇKOİ giderim verimleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Gül atık suyunun başlangıç (0.gün) KOİ değeri 8391 mg/L'dir. 14. günün sonunda KOİ değeri, yeşil ışıkta 2926 mg/L, beyaz ışıkta 2559 mg/L, sarı ışıkta 2784 mg/L, kırmızı ışıkta 3677 mg/L, mavi ışıkta 4787 mg/L ve karanlık ortamda 5128 mg/L'ye düşmüştür. 14. günün sonunda elde edilen KOİ giderim verimleri yeşil, beyaz, sarı, kırmızı, mavi ve karanlık ortamda sırasıyla %65, %69, %66, %56, %42 ve %38 olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde TKOİ giderim veriminin en yüksek beyaz ışıkta gerçekleştiği tespit edilmiştir. Beyaz ışıktan sonra en iyi TKOİ giderim verimi %66 ile sarı ışıkta gerçekleşmiştir. En düşük verim ise %38 ile karanlık ortamda gözlenmiştir. ÇKOİ giderim verimleri incelendiğinde, 14. günün sonunda %71 verim ile en yüksek giderim verimi beyaz ışıkta tespit edilmiştir. Yeşil ve sarı ışıkta %69, kırmızı ışıkta %48, mavi ışıkta %44 ve karanlık ortamda ise %41 ÇKOİ giderim verimi elde edilmiştir. En düşük verim yine karanlık ortamda gözlenmiştir. Çalışmada görüleceği üzere ışık rengi arıtım verimini etkilemektedir. Farklı dalga boylarında bitkilere uygulanan aydınlatmaların; bitkinin yaprak alanı, taze sürgün ağırlığı ve kök ağırlığını önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Çakırer vd., 2017). Bu çalışmada Su bürülcesi ile gül atık suyunun arıtımında ışık renginin etkisi KOİ ve ÇKOİ giderim verimleri açısından değerlendirildiğinde büyükten küçüğe doğru beyaz > sarı > yeşil > kırmızı > mavi > karanlık ışık ortamları şeklinde sıralanabilmektedir.



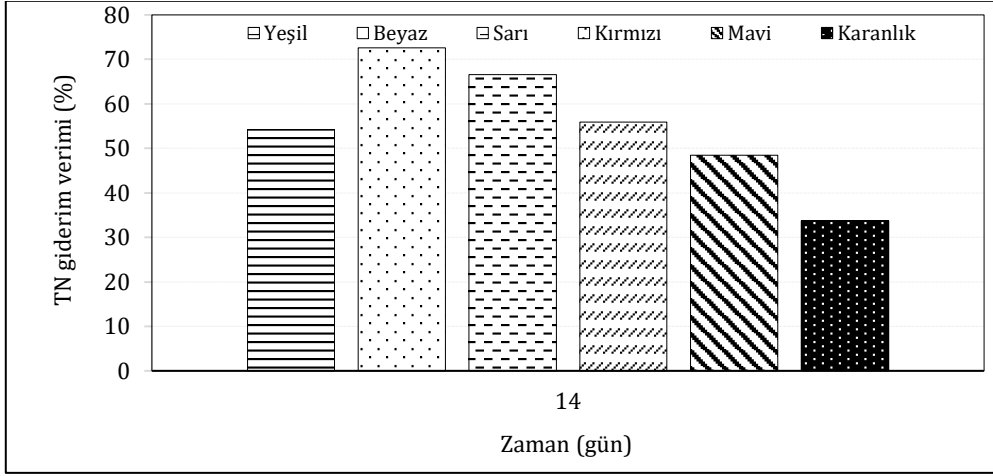
Şekil 2. KOİ giderim verimi (%) (COD removal efficiency %)



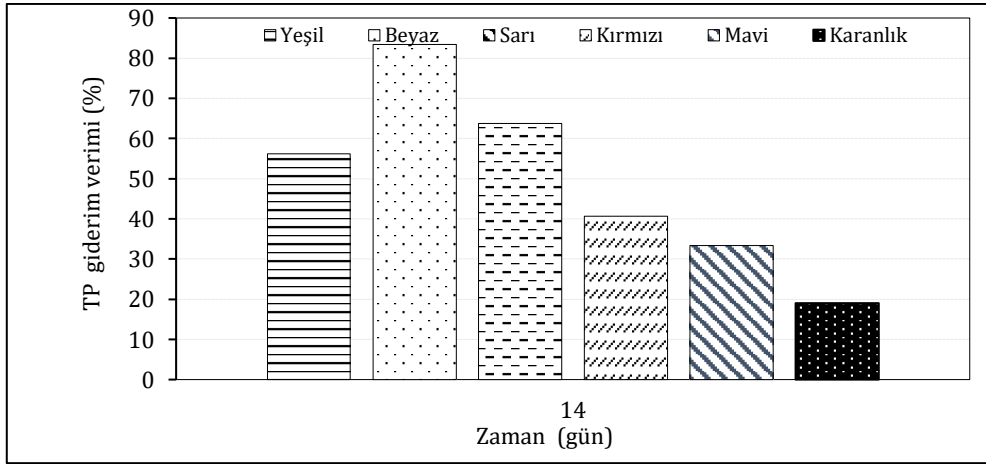
Şekil 3. ÇKOİ giderim verimi (%) (SCOD removal efficiency %)

### 3.2. TN ve TP giderimi (TN and TP removal)

Gül işleme atık suyunun başlangıç TN ve TP konsantrasyonu sırasıyla 80,5 mg/L ve 7,09 mg/L olarak ölçülmüştür. Su bürülcesi bitkisi ile TN giderim verimleri Şekil 4'te, TP giderim verimleri ise Şekil 5'de verilmiştir. 14 günlük bekleme süresi sonunda en yüksek TN ve TP giderim verimleri beyaz ışıkta tespit edilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü üzere 14. günün sonunda su bürülcesi bitkisiyle beyaz ışıkta %72 ile en yüksek azot giderim verimi elde edilirken karanlık ortamda %33 ile en düşük azot giderim verimi elde edilmiştir. Yüzde olarak fosfor giderim verimleri ise sırasıyla yeşil ışıkta %56, beyaz ışıkta %83, sarı ışıkta %63, kırmızı ışıkta %40, mavi ışıkta %33 ve karanlık ortamda %19'dur. Başlangıçta 7,09 mg/L olan fosfor değeri, 14. günün sonunda beyaz ışıkta 1,18 mg/L değerine düşmüştür. Laabassi vd. (2019) 75 lt' lik biofiltrasyon tankında 36,5 gr Su bürülcesi bitkisi kullanarak evsel atık suyun arıtımını gerçekleştirdikleri çalışmada, %79 NH<sub>4</sub>-N ve %37 PO<sub>4</sub>-N giderim verimlerine ulaşmışlardır. Su vd. (2019) yaptıkları çalışmada Su bürülcesi bitkisi kullanarak evsel atık suda 46 gün sonunda %67,3 TN giderimi ve %14,2 TP giderimi elde etmişlerdir. Gül atık suyunun evsel atıksuya göre daha fazla kirlilik yükü içerdiği düşünüldüğünde su bürülcesi bitkisi kullanılarak gül atık suyunun arıtıldığı bu çalışmada %72 TN ve %83 TP giderim verimleri literatür ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek bulunmuştur.



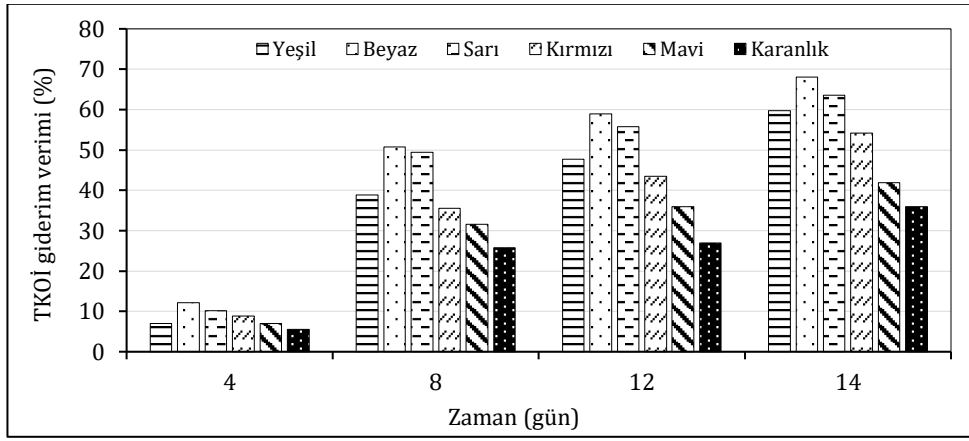
Şekil 4. TN giderim verimi (%) (TN removal efficiency %)



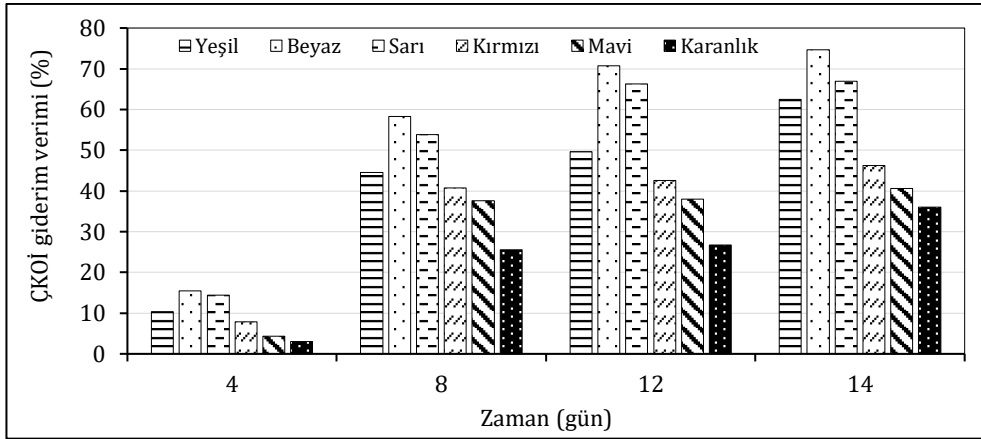
Şekil 5. TP giderim verimi (%) (TP removal efficiency %)

### 3.3. Zamana Bağlı Arıtılabilirlik Çalışması (Time-Dependent Purification Study)

Bu çalışmada su bürülcesi bitkisinin ham gül atık suyunun arıtılmasında zamana bağlı KOİ ve ÇKOİ giderim verimleri incelenmiştir. Zamana bağlı KOİ giderim verimi değişimi Şekil 6 ve ÇKOİ giderim verimi değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. KOİ ve ÇKOİ giderim verimleri açısından değerlendirildiğinde 14. günde en yüksek KOİ ve ÇKOİ giderim verimi göstermiştir. 14.günün sonunda bitkide deformasyon ve ölüm gerçekleştiği için 14. gün sonrası analiz gerçekleştirilememiş ve bitkinin bozulması nedeniyle KOİ ve ÇKOİ de artış gözlenmiştir. Çalışma sonucunda 12. ve 14. günlerin çalışma süresi olarak seçilebileceği görülmektedir. 12. ve 14. gün KOİ ve ÇKOİ giderim verimleri değerlendirildiğinde beyaz ışıpta maksimum değere ulaşmıştır. 12. günde beyaz ışıpta KOİ giderim verimi %59 iken 14. günde bu değer %69'a ulaşmıştır. 14. Gün de KOİ giderim veriminde artış %10 civarındadır. ÇKOİ giderim verimi açısından incelediğimizde 12. günde beyaz ışıpta %71, 14. günde ise %75 olarak bulunmuştur. 14. gün de ÇKOİ giderim veriminde artış %4 civarındadır. Bu sonuçlar dikkate alındığında %69 KOİ ve %75 ÇKOİ giderim verimine ulaşabilmek için 14 gün bekleme süresinin yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Zamana bağlı TKOİ giderim verimi değişimi (%) (Time-Dependent COD removal efficiency %)

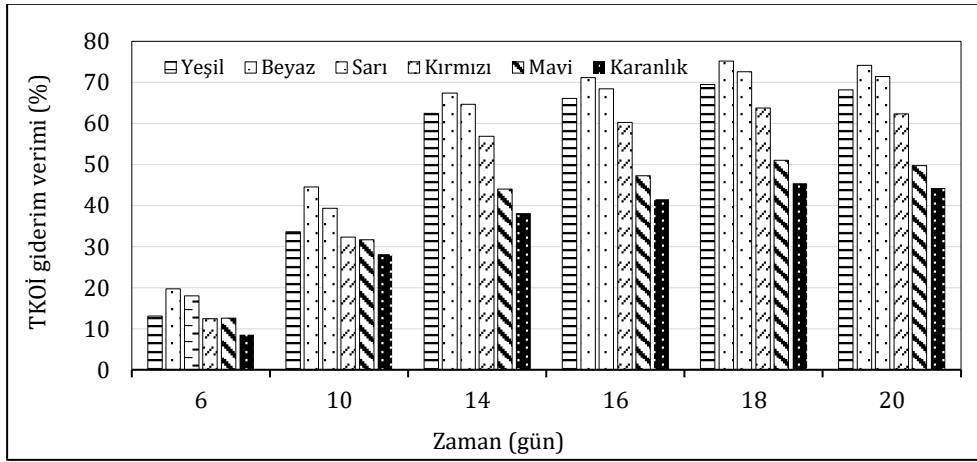


Şekil 7. Zamana bağlı ÇKOİ giderim verimi değişimi (%) (Time-Dependent SCOD removal efficiency %)

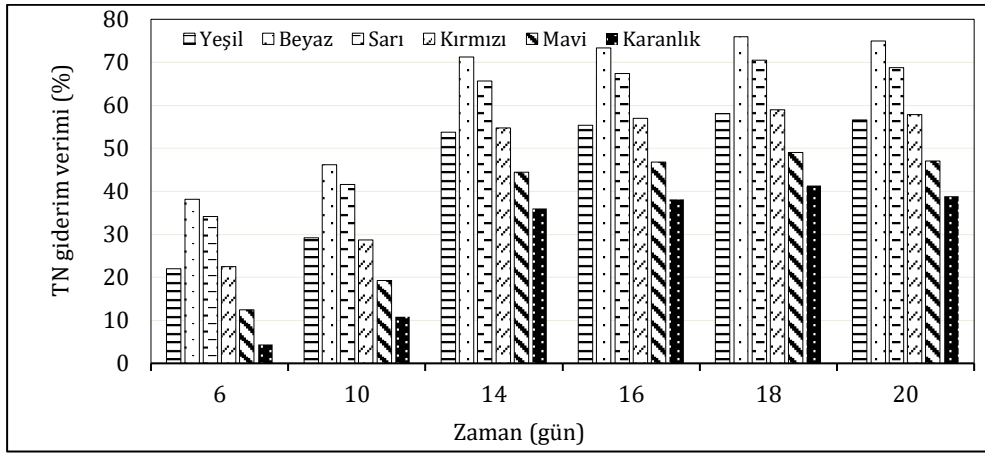
### 3.4. Verim Artırma Çalışması (Efficiency Increase Study)

Çalışmada KOİ, TN ve TP giderim verimini artırmak için su bürülcesi bitkisi ile iki kademeli arıtım gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada atıksu 14 gün boyunca su bürülcesi bitkisiyle arıtıma tabi tutulmuş, ikinci aşamada ise bu bitkiler eleklerle su içinden alınarak tamamen ortamdaki temizlenmiş ve ortama yeni su bürülcesi bitkisi eklenerek ikinci kademe arıtım gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı seri bağlı arıtım sistemi olması durumunda arıtım verimindeki değişimleri incelemektir. Çalışma aynı ortam şartlarında gerçekleştirilmiş olup sadece 14. günün sonunda bitkilerin temizlenip tekrar ortama aynı miktarda su bürülcesi bitkisinin eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Su bürülcesi bitkisi ile farklı renk ışık kaynakları altında iki kademeli arıtım sonrası elde edilen KOİ, azot ve fosfor giderim verimleri sırasıyla Şekil 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde KOİ, TN, TP açısından yine beyaz ışık altında diğer ışık kaynaklarına göre en yüksek verim gözlenmiştir. İki kademeli arıtım yönünden bakıldığında ikinci kademe olan 14. gün sonrası arıtım birinci arıtıma göre verimi bir miktar artırmıştır. KOİ giderim verimi ilk kademede beyaz ışıkta 14. günde %67, 16. gün sonunda %71 ve 18. gün sonunda %75 olarak bulunmuştur. KOİ giderim verimi ikinci kademe arıtım yapılması durumunda %67 den %75'e yükselmiştir. 18. günün sonunda KOİ giderim verimindeki artış %8 civarındadır. TN ve TP giderim verimleri açısından değerlendirdiğimizde 14. günde TN %71 den 18. günde %76, TP ise 14. günde %69 dan 18. günde %82 değerine yükselmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki TN ve TP arıtım verimleri ikinci kademeden eklenmesi ile TN için %5, TP için ise %13'lük bir artış göstererek maksimum arıtım verimine ulaşmıştır. Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere 20. gün de KOİ, TN ve TP değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu durumun su bürülcesi bitkisinin bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

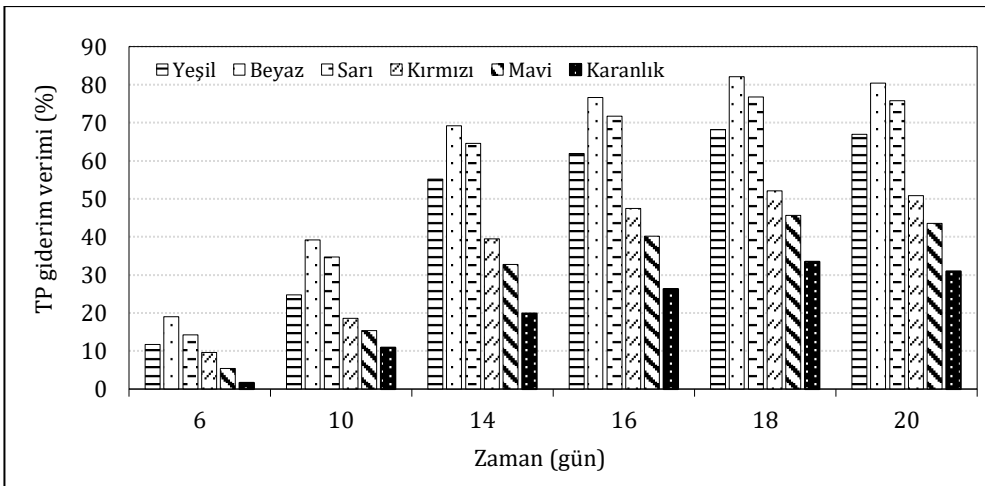




Şekil 8. Seri arıtımda TKOİ giderim verimi (%) (TCOD removal efficiency % in serial purification)



Şekil 9. Seri arıtımda TN giderim verimi (%) (TN removal efficiency % in serial purification)



Şekil 10. Seri arıtımda TP giderim verimi (%) (TP removal efficiency % in serial purification)

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada gül işleme tesisinden açığa çıkan atık suyun Su börülcesi (*Salvania natans*) bitkisi kullanılarak arıtılabilirliği, bununla beraber farklı ışık ortamlarında arıtım performansları KOİ, TN ve TP giderim verimleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışma da ayrıca verim artırmak amacıyla kademeli arıtım yapılmış ve kademeli arıtımın arıtım performansı değerlendirilmiştir.

Su börülcesi bitkisi için KOİ, ÇKOİ, azot ve fosfor giderim verimleri 14 günlük arıtım süresi sonunda en yüksek beyaz ışıpta sırasıyla, %69, %71, %72 ve % 83 olarak bulunmuştur. Farklı renk ışık altında giderim verimleri beyaz > sarı > yeşil > kırmızı > mavi > karanlık ortam olarak sıralanmaktadır. *Su börülcesi* bitkisinin zamana karşı arıtım verimi incelendiğinde arıtım zamanı arttıkça giderim verimi de artmıştır. 4, 8, 12 ve 14. günde beyaz ışıpta KOİ

giderim verimleri sırasıyla %12, % 50, % 58 ve % 68, ÇKOİ giderim verimleri ise %15, % 58, % 70 ve % 72 olarak bulunmuştur.

Su bürülcesi bitkisi ile kademeli olarak arıtma uygulandığı çalışmada 14. Günün sonunda sistemden bitkinin alınıp tekrar Su bürülcesi bitkisinin eklenmesi durumunda verimde artış gözlenmiştir. 14 gün süren birinci kademe arıtımda beyaz ışıkta, KOİ giderim verimi %67 iken ikinci kademe KOİ giderim verimi %7 artış göstererek 20 günlük bir bekleme süresi sonunda verim %74'e yükselmiştir. İkinci kademenin kullanılması 6 günlük bekleme süresi sonunda %7'lik bir artış meydana getirmiştir. 14. ve 20. günün sonunda beyaz led ışık altında elde edilen azot giderim verimleri sırasıyla %71 ve %74, fosfor giderim verimleri ise sırasıyla %69 ve %80 olarak bulunmuştur. İkinci kademenin eklenmesi ile azot giderimin de %3, fosfor giderimin de ise %11 artış gerçekleştirilmiştir. Bu konuda yapılan literatür çalışmaları ile kıyaslandığında (evsel atık suda 46 gün sonunda % 67,3 TN giderimi ve %14,2 TP) bizim çalışmamızda elde edilen verimlerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışma göstermiştir ki özellikle azot ve fosfor giderim açısından 14 gün gibi çok kısa sürede yüksek arıtım verimlerine ulaşılmıştır. Yüksek arıtım verimlerine ulaşılmasında beyaz led ışık kaynağı pozitif bir etki göstermiştir.

Gül atık suyunun arıtılmasında mevcut arıtma sistemleri göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arıtma şekliyle gül atık suyunun yerinde arıtılması ve KOİ, TN ve TP gibi deşarj parametrelerinde yüksek giderim verimi açısından çevreye verilen kirliliğin azaltılması önemlidir.

Her ne kadar önerilen sistemin arıtma verimi oldukça yüksek olsa da deşarj standartlarını sağlamadığı göz önünde bulundurulduğunda bitkilerle arıtma yönteminin gül atık suyu arıtımında; ön arıtım ya da ikincil arıtım olarak uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

Çalışma laboratuvar ölçeklidir. Gerçek ölçekte üretimden çıkan gül atık suyu miktarları çok daha fazla olacaktır. Çalışmanın uygulamaya dönüşmesi için büyük ölçekte analizlenmesi gerekmektedir. Daha sonraki çalışmalarda yerinde ve led ışık kaynaklarıyla donatılmış büyük havuzlarda laboratuvar ölçekteki bu çalışmalar temel alınarak araştırmalar gerçekleştirilebilir.

### **Tesekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2019-7408 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Akten, M., Akten, S., 2008. Kentsel Atıksu Yönetimi ve Atıksuların Yeniden Kazanımında Yapay Sulak Alanların Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerindeki Etkileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, 483-491.
- Ansari, A.A., Gill, S.S., Lanza, G.R. Rast, W., 2011. Eutrophication: Causes, Consequences and Control, Volume 2. Book. Springer Dordrecht, ISBN: 978-94-007-7814-6 Published: 19 November 2013.
- APHA, AWWA, WEF., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, American Water Work Association. Water Environment Federation: Washington, DC.
- Avsar Y., Kurt U., Gönüllü T., 2007. Comparison of Classical Chemical and Electrochemical Processes for Treating Rose Processing Wastewater, Journal of Hazardous Materials, 148 , 340-345.
- Avşar Y., Kurt U. , Tosun İ., Günay A., 2005. Isparta Yöresinden Kaynaklanan Gülyağı Atıksularının Kimyasal Olarak Arıtılabilirliği, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, Türkiye.
- Bilir, S., 2010. Isparta İlinde Gülcülük ve Ekonomik Önemi. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, Beşeri ve İktisadi Coğrafya Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Bruch, I., Fritsche, J., Bänninger, D., Alewella, U., Sendelov, M., Hürlimann, H., Hasselbach, R., Alewell, C., 2011. Improving The Treatment Efficiency of Constructed Wetlands with Zeolite-Containing Filter Sands. Bioresource Technology, 102 (2), 937-941.
- Çakırer G., Akan S., Demir K., Yanmaz R., 2017. Bahçe Bitkilerinde Kullanılan Işık Kaynakları. Akademik Ziraat Dergisi, Cilt 6, Özel Sayı:63-70.
- Dan, T.H., Quang, L.N., Chiem, N.H., Brix, H., 2011. Treatment Of High-Strength Wastewater in Tropical Constructed Wetlands Planted with Sesbania Sesban: Horizontal Subsurface Flow Versus Vertical Downflow. Ecological Engineering, 37(5), 711-720.
- Demirörs, B., 2006. Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Erol, B., 1997. Yüzen Aquatik Bitki Sistemlerinde Azot Giderim Prensipleri. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- T.C. Ticaret Bakanlığı Esnaf, Sanatkârlar ve Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, 2019 Yılı Gül Çiçeği Raporu.
- Güler, 2010. Süleyman Demirel Üniversitesi Gül ve Gül Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Isparta. <http://gular.sdu.edu.tr>.
- Karagöz, S., 1998. Çöp Sızıntı Sularının Su Bitkileriyle Oluşturulan Sistemlerle Arıtılması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Laabassi A., Boudehane A., 2019. Wastewater Treatment by Floating Macrophytes (*Salvinia Natans*) Under Algerian Semi-Arid Climate. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3(1), 103-110.
- Lee, S., Maniquiz, M.C., Kim, L.H., 2010. Characteristics Of Contaminants in Water and Sediment of a Constructed Wetland Treating Piggery Wastewater Effluent. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (6) 940-945.
- Önder U., 2019. Gül İşleme Atıksuyunun *Chlorella Sp.* İle Arıtımı ve Sonrasında Biyogübre ve Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi, Yayınlanmış Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
- Saeed, T., Sun, G., 2012. A Review on Nitrogen And Organics Removal Mechanisms in Subsurface Flow Constructed Wetlands: Dependency On Environmental Parameters, Operating Conditions And Supporting Media. *Journal of Environmental Management*, 112: 429-448.
- Su F, Li Z.,1,3, Li Y., 1, Xu L., Li Y., Li S., Chen H., Zhuang P., Wang F., 2019. Removal of Total Nitrogen and Phosphorus Using Single or Combinations of Aquatic Plants. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 4663.
- TEPGE, 2022. GÜL, Tarım Ürünleri Piyasaları, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü.
- Tosun, İ. , Gönüllü, M.T. ve Arslankaya, E., 2002. Gülyağı Sanayi Proses Atıkları Özelliklerinin Belirlenmesi. I. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu. Atatürk Üniversitesi, 16-18 Ekim 2002, Erzurum, 864-873.
- TÜBİTAK, MAM Çevre Enstitüsü, Yapay Sulak Alanlar El Kitabı, 2011.
- Uysal, Y., 1998. Atık Su Arıtım Sistemlerinde Yüzen Su Bitkilerinden *Lemna Minör (L)*'nin Besi Maddesi Giderimindeki Etkinliğinin Araştırılması. Yayınlanmış Yüksek Lisan Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Yavaş, Ö. 2017. Doğal Atıksu Arıtma Tesislerinin Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Bursa İli Örneği. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.