



## **EVSEL ATIK SULARIN STERİLİZASYON CİHAZI TASARIMI ve DOĞRULAMASI**

<sup>1</sup>Raziye Lökücü\*, <sup>1</sup>Ahmet Can Alataş, <sup>1</sup>Merdan Özkahraman, <sup>1</sup>Bekir Aksoy  
<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Bölümü, Isparta

### **ÖZET**

Modern toplumların en büyük sorunlarından biri olan evsel atıkların çevreye verdiği zararlar göz önünde bulundurulduğunda, bu makale 'evsel atıkların sterilizasyon cihazı tasarımı' konusundaki önemli bir adımı temsil etmektedir. Bu çalışmada, bina atık sularının kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmalar ve mikroorganizmalardan kaynaklanan birikimler nedeniyle oluşan çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Ultraviyole (UV) ışık kullanılarak mikroorganizmaların arındırılması ve öğütücü yardımıyla katı atıkların fiziksel parçalanması gibi yenilikçi yaklaşımlar sunulmaktadır. Bu tasarımın gerçekleştirilmesiyle, şehir kanalizasyon hatlarında taşkın riski azalacak ve mikroorganizma içeren sıvı akışının çevre kirliliğine yol açması önlenecektir. Ayrıca, bina atık sularının kanalizasyona karışması, tıkanma ve taşma problemleri, arıtılmamış su tüketimine bağlı hastalık riski, kirliliği atık suların tarım alanlarına sızması gibi çeşitli sorunlara etkili çözümler sunulmuştur

**Anahtar Kelimeler:** UV Sterilizasyon, Evsel Atık Su, Mikroorganizmalar, Elektroliz.

### **DESIGN AND VALIDATION OF HOUSEHOLD WASTEWATER STERILIZATION APPARATUS**

#### **ABSTRACT**

When considering the environmental impact of household waste, which is one of the major challenges of modern societies, this article represents a significant step in the field of 'design of domestic waste sterilization apparatus'. In this study, the aim is to mitigate the environmental effects caused by blockages in sewage systems due to building waste and accumulations resulting from microorganisms. Toward this objective, innovative approaches such as the use of Ultraviolet (UV) light for microbial disinfection and the physical fragmentation of solid waste through a grinder are presented. The realization of this design would lead to a reduced risk of sewage overflow in urban sewage lines, thereby preventing the discharge of microorganism-laden liquids that contribute to environmental pollution. Furthermore, the proposed design offers effective solutions to various issues, including the prevention of household wastewater mixing with sewage, mitigation of problems related to blockages and overflow, reduction of disease risks associated with untreated water consumption, and prevention of contaminated wastewater infiltration into agricultural areas.

**Keywords:** UV Sterilization, Household Wastewater, Microorganisms, Electrolyse.

## 1. GİRİŞ

Çevresel sürdürülebilirlik, günümüzde küresel çapta en önemli endişelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle modern toplumların artan nüfusu ve tüketim alışkanlıkları, evsel atıkların yönetimi ve bertarafı konusunda ciddi zorluklar doğurmuştur. Evsel atıkların çevreye verdiği zararlar, su kirliliği, mikrobiyal bulaşma ve ekosistem bozulmaları gibi geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. Bu bağlamda, evsel atık yönetiminin geliştirilmesi ve çevresel etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla yenilikçi çözümler arayışı önem kazanmıştır.

Kanalizasyonda toplanan atık sular, çeşitli bakteri ve mikroorganizmaları içermektedir. Bu durum, kanalizasyon sistemlerindeki arıtma tesislerine ulaşmadan önce oluşabilecek tıkanma veya taşma gibi beklenmeyen durumlar sonucunda, çevresel açıdan önceden tahmin edilemeyen sorunlara yol açabilir. Bu ve benzer sorunların etkilerini minimize etmek amacıyla, evsel atıkların kanalizasyona ulaşmadan önce arıtılması hedeflenmektedir. Bu arıtma işlemi, atıkların öğütülerek Ultraviyole (UV) ışınlarıyla etkileşime girmesi ve ardından filtrelenmesi prensibine dayanmaktadır. Ayrıca, olası katı atık kaynaklı kanalizasyon tıkanmalarının da mekanik parçalama yöntemiyle engellenmesi amaçlanmaktadır.

Benzer olarak 2015 yılında yapılan bir çalışmaya göre atık sudan nitrojen kazanımı hedeflenerek kendi kendine çalışan bir reaktör tasarlanmıştır. Kısaca bu çalışmada mikrobiyal yakıt hücresinin elektrik performansının atık suyun elektrolizini aynı reaktör içinde kendi kendine katolit oluşumuna yönlendirdiği bir süreç önerilmiştir. Bu araştırma sonucunda mikrobiyal yakıt hücrelerinin bir su geri kazanım sistemi olarak istenmeyen biyofilm [1] oluşumunu sınırlayan bir dezenfektan/temizleyici jeneratör ve sanitasyonu iyileştirmek için susuz pisuarlarda bir yıkama maddesi olarak hizmet edebileceği ortaya çıkmıştır. Böylece organik atıklardan doğrudan elektrik ve su geri kazanımı yapılabilir. Bu durum sürdürülebilir atık arıtımı sisteminde önemli gelişmelere kapı aralamıştır.

Biyokütle ve ev atıkları, bulunabilirlikleri, miktarları ve biyoenerji potansiyelleri açısından Birleşik Krallık biyoenerji sektörü için büyük umut vaat eden kaynaklar olarak tanımlanmıştır [2]. Atık su elektrokimyasal hücreleri (WEC), geleneksel kentsel altyapıya sahip olmayan uzak yerlerde sanitasyonun [3] iyileştirilmesi için atık arıtımı için önerilmiştir [4]. Bununla birlikte, elektrokimyasal sistemlerin daha sürdürülebilir bir uygulaması, atık su arıtımı için uygun bir doğrudan elektrik üreticisi olarak mikrobiyal yakıt hücresi (MFC) tarafından sunulmaktadır [5-7]. Teknoloji, suyun [8] ve besinlerin [9] geri kazanılması için geliştirilmiştir ve pratik uygulamalar [10-12] için uygundur. MFC işlemi sırasında, protonlar ve katyonlar zardan katoda geçerken, su aynı anda elektroozmotik sürüklenme ile hareket eder.

Su, hava ve yüzey sterilizasyonu için ultraviyole teknolojisi Ultraviyole C (UV-C) radyasyonunun [17] antiseptik etkisine dayanmaktadır. UV sterilizasyon teknolojisi içme suyu temini, atık su arıtımı, hava ve yüzey sterilizasyon uygulamaları için uygulanabilir. Bu teknolojinin en büyük avantajları:

- Kullanımı uygundur ve kimyasallara gerek yoktur. Dolayısıyla kimyasal kalıntı bırakmaz.
- İlaça dirençli bakteriler de dahil olmak üzere her türlü mikroorganizmayı öldürebilir.

Dezavantajları:

- UV-C insanlar için tehlikelidir. Bu nedenle UV sterilizasyonu genellikle koruyucu kalkanlı UV-C lambalar kullanılarak yapılır. UV-C kullanırken özellikle cilt ve gözlere doğrudan temasından kaçınılmalıdır.
- UV sadece ışık yolunda çalışır ve nesnelere tarafından engellenebilir [18].

HOCl, hafif bir narenciye suyu kuvvetinde, zayıf bir asit olan Hipokloröz Asit'in bilimsel formülüdür [19]. Klor, hipokloröz asit ve oluşturacak şekilde çözünür [20]. Tepkime Denklem 1'de görülmektedir:



Mikroorganizmalar üzerine parçalayıcı etkiden sorumludur. Bu nedenle HOCl, aktif klor olarak adlandırılır. Suda iyonizasyona uğrar. Hipokloröz asit pH 6'nın altında çözünmezken bu değer üzerinde çözünmeye başlar ve pH 9'un üzerinde ortamda hipoklorid iyonu üstün duruma geçer. Bu nedenle, klorun dezenfekte edici etkisi pH'taki artışla azalır. HOCl, istilacı bakteri, mantar ve virüslere karşı etkili olan güçlü bir oksidandır. 1970'lerde tuzlu su çözeltisinden elektrik geçirilerek ilk HOCl üretilmiştir [21]. HOCl, bakteri ve virüslere karşı kendisinin ürettiği, doğadaki patojen mikroorganizmalara karşı en etkin maddedir. Tuzlu suyun elektro-kimyasal aktivasyonundan (ECA) HOCl üretimi 1970'lerde geliştirilmiştir. ECA sadece tuz ve suyun, elektrokimyasal hücrede elektrolizi ile % 100 doğada çözünebilen, dezenfektan olan Hipokloröz Asit (HOCL) ya da diğer adıyla süper okside su üretmeye yarayan patentli bir teknolojidir [22]. Katot tarafında toplanan maddelere Katolit (Catholyte), anot tarafında toplanan maddelere Anolit (Anolyte) adı verilir. Anolit solüsyonu ağırlıklı su ve Hipokloröz Asitten oluşmaktadır.

Bu makale, evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik bir yaklaşım olan 'evsel atık sterilizasyon cihazı tasarımı' konusunu ele almaktadır. Mikroorganizmaların yayılmasını engellemek ve atık suyun daha güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen bu tasarım, evsel atıkların yönetimi konusunda önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bina atık sularının kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmaların ve mikroorganizmaların neden olduğu kirliliğin azaltılması hedeflenmektedir. Makalenin devamında, evsel atık sterilizasyon cihazının tasarımı ve işleyişi detaylı bir şekilde incelenecek, kullanılan teknolojiler ve yöntemler açıklanacak ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Bu çalışmanın amacı, evsel atık yönetimi alanında çevresel sürdürülebilirliği artırmaya yönelik katkı sağlamaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Hipokloröz Asit Üretimi

Hipokloröz asit üretimi için her bir litre saf suya 2 gram tuz ilave edilmiştir. Bu oran, asitin berraklığı ve pH seviyesi göz önünde bulundurularak deneysel olarak belirlenmiştir. Asit üretimi için kullanılan demir çubuklar, krom alaşımlı paslanmaz çelik tellerden imal edilmiştir. Bu yaklaşım, paslanma ve kir birikimi olasılığını minimize ederek asit verimliliğini olumsuz etkilerden korumuş olduğu görülmüştür.

## 2.2. Depolama Sistemi

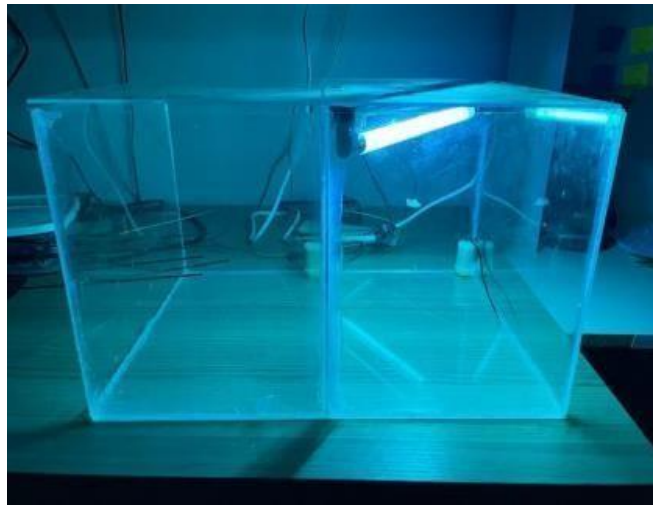
Sterilizasyon sisteminde kullanılacak olan atık su depo sistemi, farklı ev tiplerinin günlük su tüketim ihtiyaçlarına göre tasarlanmıştır. Depo hacmi, günlük ortalama evsel su kullanımı temel alınarak belirlenmiştir. Bir kişi için günlük ortalama atık su miktarı 80 ile 160 litre arasında değişmektedir [22, 23]. 4 kişilik bir aile için 480 litre kapasiteli bir deponun günlük hacmi karşılayabileceği öngörülmektedir. Deneysel çalışmaya uygun bir örnek depo, uygun ölçülerde kesilmiş parçaların birleştirilmesiyle iki aşamalı bir sistem olarak inşa edilmiştir. Sistem, gün içinde gereken sıklıkta çalışması için evsel su tüketim verileri esas alınarak hesaplanmıştır. Depoda yer alan su miktarının seviyesinin kontrol edilebilmesi için su seviye sensörü kullanılmıştır. Sistemde sıvıların yer değişiminin sağlanabilmesi amacıyla katı atığa uyumlu sıvı pompası kullanılmıştır.

## 2.3. Ultraviyole (UV) Sterilizasyon Sistemi

Ultraviyole (UV) veya morötesi ışınlar, ortam sterilizasyonunda etkili bir yöntem olarak kabul edilir. UV ışınlarının dalga boyu 100 nm ile 400 nm arasında olduğundan, insan gözü tarafından algılanamaz [14]. UV sterilizasyon lambası, düşük basınçlı cıvalı lamba ile ultraviyole ışınları yayabilen bir cihazdır. Bu ışınlar, bakteriyel proteinlerin fotolizi ve denatürasyonuna neden olarak mikroorganizmaların hücresel aktivitelerini etkisiz hale getirir [13]. Ultraviyole teknolojisinin önemli avantajları arasında şunlar yer alır:

- Klora dirençli mikroorganizmalar da dahil olmak üzere çeşitli mikroorganizmalara karşı yüksek etkinlik sunar.
- Su ve havanın fiziksel, kimyasal ve organoleptik özelliklerini değiştirmez; yan ürün veya tehlikeli doz aşımı riski yoktur.
- UV sistemleri, kullanımı kolay ve etkilidir; özel operasyonel güvenlik önlemleri gerektirmez.

Bu bölümde tanımlanan yöntemler, çalışmanın temel materyal ve yöntemlerini açıklamakta olup, deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların elde edilmesi için kullanılan önemli adımları özetlemektedir. Şekil 1'de deneysel sistemin görseli görülmektedir.



Şekil 1. Deneysel Sterilizasyon Sistemi

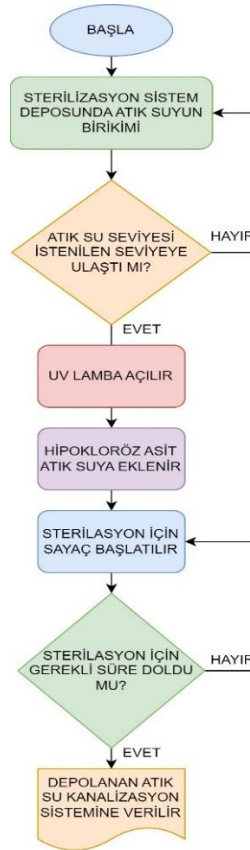
## 2.4. Sistem Kontrolü

Tasarımı yapılan sistemin otomatik kontrollü olarak çalıştırılabilmesi için mikrodenetleyiciden yararlanılmıştır. Mikrodenetleyiciler, gömülü sistemlerde gerçek zamanlı tepki sağlayabilme özellikleri nedeniyle tercih edilen bileşenlerdir [15]. Bu bağlamda, sterilizasyon sisteminin sistematik ve kontrollü bir şekilde ilerlemesi için mikrodenetleyiciler kullanılmıştır. Depo vanalarının açılıp kapanması, öğütücüye aktarımın yönetimi, sterilizasyon deposundan işlemler tamamlandıktan sonra kanalizasyon şebekesine aktarımı gibi işlemler, gerçekleştirilirken mikrodenetleyicilerin sağladığı hassas kontrol ve zamanlama avantajlarından yararlanılmıştır.

## 2.5. Prototip Aşaması

Sistemde güç kaynağı olarak akü kullanılmıştır. Sistemdeki yoğun katı atıkların etkilerini en aza indirmek amacıyla, katı atıkların öğütülmesine karar verilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, katı atıkların borularda olası çatlak ve deformasyonlara neden olma riski önceden engellenmiştir.

Prototip aşamasında, montaj işlemleri tamamlanmış ve su seviyesini algılama yeteneğine sahip yazılım geliştirilmiştir. Ardından deneysel örnek tasarımı için pompanın en uygun konumu tespit edilmiş ve montajı gerçekleştirilmiştir. Sistemin gerçek ölçekli versiyonları, konutlara kurulmak istendiğinde bina veya blok giderlerinin birleştiği noktalara ve kullanıcının taleplerine göre depo sisteminin atık su üretimine bağlı olarak büyütülebileceği öngörülmektedir. Sıvı seviyesine bağlı olarak çalışan pompaya özgü algoritma yazılmış ve pompalamanın etkinliği değerlendirilmiştir. Geriye kalan bileşenlerin montajı tamamlanarak prototip işlevsel hale getirilmiştir. Sistemin genel akış diyagramı aşağıdaki Şekil 2’de görülmektedir.



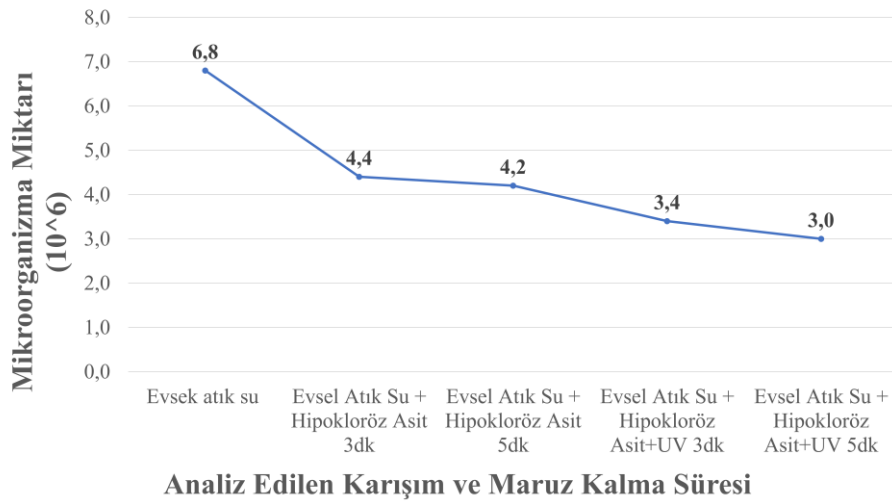
Şekil 2. Sistem akış şeması

### 3. BULGULAR

Sistemin etkinliğinin değerlendirilmesi için belirli zaman aralıklarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler neticesinde, sistemin atık sulardaki bakteri miktarını düşürmede başarılı bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bölümde sunulan sonuçlar, mutfak kullanımına dayalı olarak elde edilmiştir ve atık su numuneleri 2-3 günlük bir süre boyunca toplanarak test amacıyla gönderilmiştir. Hipokloröz asitin ve UV lambanın etkilerinin ayrı ayrı anlaşılabilmesi için deney numuneleri 3 başlıkta kategorize edilmiştir. Bunlar atık su, atık su ve asit karışımı, atık su ve asit karışımına ilave UV lamba etkisi olarak gösterilebilir. Bu başlıklar asite ve UV lamba etkisine maruz kalma süresi olarak da 3 dakika ve 5 dakika olmak üzere iki grupta değerlendirilmiştir. Analizler, farklı sterilizasyon yöntemlerinin etkisini değerlendirmek üzere Çizelge 1'de sunulmuştur. Sterilizasyon sisteminin çalışma durumunda düşen mikroorganizma grafiği Şekil 3'de görülmektedir.

**Çizelge 1.** Atık su analiz sonuçları

Analiz Edilen Karışım	Maruz Kalma Süresi(dk)	Mikroorganizma Miktarı( $10^6$ )
Evsek atık su	-	6.8
Evsel Atık Su + Hipokloröz Asit	3	4.4
Evsel Atık Su + Hipokloröz Asit	5	4.2
Evsel Atık Su + Hipokloröz Asit+UV	3	3.4
Evsel Atık Su + Hipokloröz Asit+UV	5	3.0



**Şekil 3.** Sterilizasyon sisteminde zamana bağlı mikroorganizma sayısının grafiği

Tablo 1 ve Şekil 3 incelendiğinde görüleceği üzere, evsel atık sulardaki bakteri miktarı başlangıçta  $6.8 \times 10^6$  olarak ölçülmüştür. Bu değeri azaltmak amacıyla farklı sterilizasyon işlemleri uygulanmıştır; İlk aşamada, evsel atık su hipokloröz asitte 3 dakika bekletilmiş ve sonuç olarak bakteri miktarı  $4.4 \times 10^6$  olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, bekleme süresinin sterilizasyon etkisini değerlendirmek için evsel atık su hipokloröz asit karışımında 5 dakika bekletilmiş ve bakteri miktarı  $4.2 \times 10^6$  olarak bulunmuştur.

UV ışığının etkisini incelemek amacıyla, evsel atık su hipokloröz asit karışımı 3 dakika boyunca UV ışığına maruz bırakılmıştır; sonuç olarak mikroorganizma miktarı  $3.4 \times 10^6$  olarak belirlenmiştir. Aynı karışımın, bekleme süresinin de etkisini değerlendirmek amacıyla 5 dakika boyunca UV ışını ile birlikte test edilmesi sonucunda ise suyun mikroorganizma miktarı  $3.0 \times 10^6$  olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak, evsel atık sulardaki bakteri miktarının farklı sterilizasyon yöntemleri ile önemli ölçüde düşürüldüğü ve bu yöntemlerin suyun mikrobiyal içeriğini azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Sürenin 5dk'dan 15dk'ya kadar uzaması durumunda mikroorganizma sayısında kayda değer bir düşüş görülmediği için optimum süre 5dk olarak kabul edilmiştir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik bir "evsel atık sterilizasyon cihazı" tasarımını ve uygulanabilirliğini ele almaktadır. Elde edilen bulgular, farklı sterilizasyon yöntemlerinin evsel atık sularındaki mikroorganizma miktarını önemli ölçüde azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Mikrodenetleyicilerin kullanımı, sistemin hassas kontrol ve zamanlama avantajlarına sahip olmasını sağlamıştır. Analiz sonuçlarına dayalı olarak, evsel atık suların hipokloröz asit ve UV ışığı gibi kombinasyonlarla işlenmesinin suyun mikrobiyal içeriğini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Özellikle, evsel atık suya hipokloröz asit eklenmesi ve UV ışığının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar, mikroorganizma miktarının ciddi şekilde azaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar, evsel atıkların kanalizasyon sistemine girmeden önce etkili bir şekilde sterilize edilmesinin, çevresel kirlilik ve sağlık risklerini azaltmak için etkili bir yol olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, tasarımın mikrodenetleyiciler gibi teknolojilerin kullanımıyla sistematigi ve kontrolü artırdığı görülmektedir.

Bu çalışma, evsel atık sterilizasyonunun çevresel sürdürülebilirliğe ve halk sağlığına katkı sağlayabilecek etkili bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır. Evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmak ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamak için yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Gelecekteki araştırmalar, tasarımın ölçeklendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve farklı su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gibi alanlara odaklanabilir. Evsel atık sterilizasyonunun çevresel sürdürülebilirliği artırmada ve toplumsal sağlık risklerini azaltmada önemli bir adım olduğunu göstermektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ve araştırmaların devamı, gelecekte daha temiz ve sağlıklı bir çevrenin oluşturulmasına yönelik daha fazla fırsat sunabilir.

## 5. TEŞEKKÜR

2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 1919B12102252 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Willke Topçu, A. (2018). Biyofilm Nedir? *Biyofilm Enfeksiyonları. 1. Baskı*. Türkiye Klinikleri. 1-3. Ankara.
2. Welfle, A., Gilbert, P., Thornley, P. (2014). Increasing biomass resource availability through supply chain analysis. *Biomass and Bioenergy* 70, 249–266.
3. Brown, J., Acey, C. S., Anthonj, C., Barrington, D. J., Beal, C. D., Capone, D., Winkler, I. T. (2023). The effects of racism, social exclusion, and discrimination on achieving universal safe water and sanitation in high-income countries. *The Lancet Global Health*, 11(4), e606-e614.
4. Allen, R. M., Bennetto, H. P. (1993). Microbial fuel-cells. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 39–40, 27–40
5. Habermann, W., Pommer, E. (1991). Biological fuel cells with sulphide storage capacity. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35, 128–133
6. Lovley, D. R. (2008). The microbe electric: conversion of organic matter to electricity. *Curr. Opin. Biotechnology* 19, 564–71
7. Zhang, F., Brastad, K. S., He, Z. (2011). Integrating forward osmosis into microbial fuel cells for wastewater treatment, water extraction and bioelectricity generation. *Environ. Sci. Technol.* 45, 6690–6
8. You, J., Greenman, J., Melhuish, C., Ieropoulos, I. (2014). Electricity generation and struvite recovery from human urine using microbial fuel cells. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*
9. Ieropoulos, I., Greenman, J., Melhuish, C. (2010). Improved energy output levels from small-scale Microbial Fuel Cells. *Bioelectrochemistry* 78, 44–50
10. Ieropoulos, I. *et al.* (2013). Waste to real energy: the first MFC powered mobile phone. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 15, 15312–15316
11. Ieropoulos, I., Greenman, J., Melhuish, C., Horsfield, I. (2010). EcoBot-III-A Robot with Guts. *ALIFE* 733–740
12. Ruiz-Díez, C., Navarro-Segarra, M., Barrena, R., Gea, T., Esquivel, J. P. (2023). Optimization of UV-C pulsed radiation strategy for a high-efficiency portable water sterilizer. *Environmental Technology & Innovation*, 31, 103199.
13. Iwaguch, S., Matsumura, K., Tokuoka, Y., Wakui, S., Kawashima, N. (2002). Sterilization system using microwave and UV light. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 25(4), 299-304.
14. Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033.
15. Ibrahim, D. (2006). Microcontroller based applied digital control. John Wiley.
16. Diffey, B. L. (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28(1), 4-13.
17. Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water research*, 40(1), 3-22.



18. Block, M. S., Rowan, B. G. (2020). Hypochlorous acid: a review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 78(9), 1461-1466.
19. Ampiauw, R. E., Yaqub, M., Lee, W. (2021). Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102228.
20. Eryilmaz, M., Palabiyik, I. M. (2013). Hypochlorous acid-analytical methods and antimicrobial activity. *Tropical journal of pharmaceutical research*, 12(1), 123-126.
21. Mehendale, F. V., Clayton, G., Homyer, K. M., Reynolds, D. M. (2023). HOCl vs OCl<sup>-</sup>: clarification on chlorine-based disinfectants used within clinical settings. *Journal of Global Health Reports*, 7, e2023052.
22. Erdoğan, A. O., Zengin, G. E., Orhon, D. (2010). Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu. *İTÜDERGİSİ/e*, 15(1, 3).
23. ÜSTÜN, G., TIRPANCI, A. (2015). Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119-139.