



Süleyman Demirel Üniversitesi

YEKARUM e-DERGI

(Journal of YEKARUM)



Cilt 8 , Sayı 2 , 105-113 , 2023
E - ISSN:1309-9388

Dielektrik Bariyer Deşarj(DBD) Ozon Reaktörü Tasarımı ve Prototip İmalatı

İhsan YÜREKLİ^{1*}, Remzi VAROL²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0334-6528), ihsanyurekli06@gmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2427-0710), remzivarol@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 20/11/2023 ve Kabul Tarihi 06/12/2023)

ÖZET:

Sürekli artış gösteren insan nüfusunun meydana getirdiği çevre kirliliği, artan salgın hastalıklar, artan gıda ve temiz su ihtiyacı gibi birçok etkenden dolayı günümüzde başta hava, ortam, su, gıda sektörleri olmak üzere birçok sektörde sterilizasyon ihtiyacı artmıştır. Havada ve suda düşük kalıntı bırakarak çözünebilirliği, gıdalara uygulanabilirliği ve yapay olarak üretilebilen tek doğal dezenfektan olması gibi birçok üstün özelliğiyle ozon bileşiği (O₃) sterilizasyon alanında gittikçe artan bir öneme sahiptir. Bu çalışmada ortam sterilizasyonu amacıyla DBD plazma yöntemi ile çalışan ozon reaktörü üretimi hedeflenmiştir. Yapılan tasarımdaki reaktör bileşenlerine, bu bileşenlerin imalatında kullanılacak olan malzeme çeşitlerine ayrıntılı olarak değinilmiştir. Üretilen prototip ozon reaktörünün etkinliğinin ölçülmesi amacıyla, yüzeyde ve sıvıda olmak üzere Enterovirüs ve Clostridium bakterileri numuneleri üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde bulunan Enterovirüs üzerinde %89,90 seviyesinde, Clostridium bakterisi üzerinde ise %93 seviyesinde giderme verimi elde edilmiştir. Sıvı içerisinde bulunan Enterovirüs üzerinde %89,90 seviyesinde, Clostridium bakterisi üzerinde ise %61,30 seviyesinde giderme verimi elde edilmiştir. Bu makalede testlerde kullanılan Enterovirüs ve Clostridium bakterilerinin test numuneleri üzerindeki konsantrasyonunun test öncesinde ve sonrasındaki değerlerine de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma, Ozon, Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD), Ozon Reaktörü, Tasarım, Talaşlı İmalat

Dielectric Barrier Discharge (DBD) Ozone Reactor Design and Prototype Manufacturing

ABSTRACT:

Due to various factors such as the continuously increasing human population leading to environmental pollution, rising incidence of infectious diseases, and the growing demand for food and clean water, the need for sterilization has increased in many sectors, particularly in the fields of air, environment, water, and food. Ozone compound (O₃) has become increasingly important in the field of sterilization due to its superior features such as low residue in air and water, applicability to food, and being the only naturally occurring disinfectant that can be artificially produced. In this study, the production of an ozone reactor operating with the Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma method is aimed for environmental sterilization purposes. The reactor components in the design and the

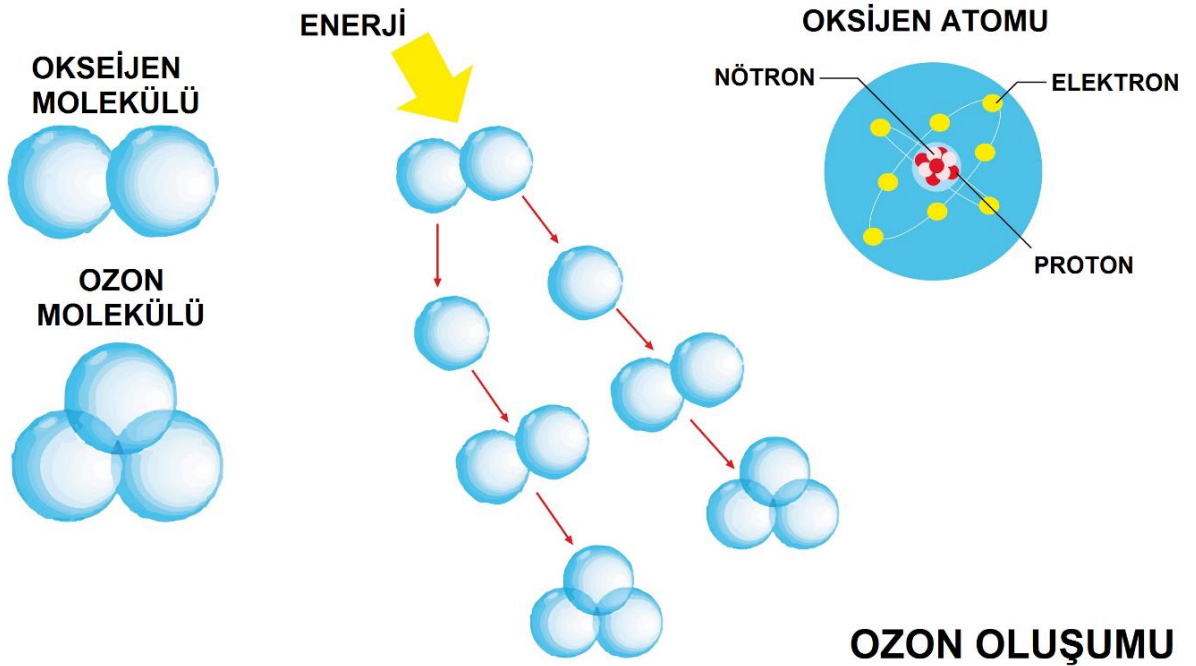
* Sorumlu yazar E-mail: ihsanyurekli06@gmail.com

types of materials to be used in the manufacture of these components are detailed. To measure the effectiveness of the produced prototype ozone reactor, tests were conducted on samples of Enterovirus and Clostridium bacteria both on surfaces and in liquids. A removal efficiency of 89.90% was achieved on Enterovirus on surfaces and 93% on Clostridium bacteria. In liquid, a removal efficiency of 89.90% was obtained on Enterovirus, while it was 61.30% on Clostridium bacteria. This article also provides information on the concentration of Enterovirus and Clostridium bacteria in the test samples before and after the tests.

Keywords: *Plasma, Ozon, Dielectric Barrier Discharge (DBD), Ozon Reaktör, Design, Machining*

1. GİRİŞ

Oksijen (O_2), dünya gezegeninde yaşamın başlangıcından bu yana insan, bitki, hayvan ve diğer canlı organizmaların yaşamını sürdüren fotosentez ve solunum olaylarında en çok kullanılan, en bol bulunan ve temel elementlerden biri olmuştur [1]. Karakteristik olarak oda sıcaklığında keskin kokulu ve renksiz bir gaz olan ozon (O_3), havada bulunan oksijen molekülünün (O_2) yüksek bir enerjiyle parçalanmasıyla kararsız hale gelerek başka bir oksijen atomuyla hızlı bir şekilde bağ oluşturmasıyla Şekil 1.’de görüldüğü gibi oluşmaktadır [2-4]. Normal sıcaklık ve basınç değerleri koşullarında son derece kararsız bir yapıda olan ozon, suda ve havada kısmen çözünebilmektedir. Ticari olarak temin edilebilmesiyle gıdalara uygulanabilen tek doğal dezenfektandır [5-8].



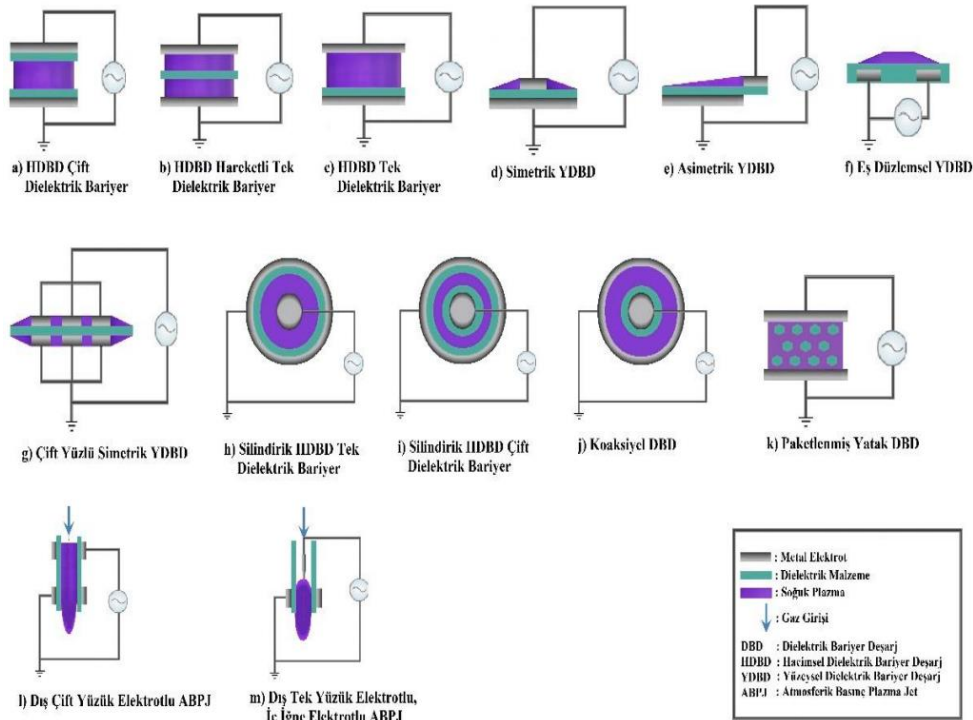
Şekil 1. Ozon oluşumunun şematik olarak gösterimi [9].

Ozon, temel olarak gaz ve sıvı fazda çeşitli alanlarda kullanılabilir. Ozonun kullanım alanları arasında; suyun bakteri ve virüslerden arındırılması, bulanıklık, koku, renk, tat

iyileştirmeleri, tarım ilacı ve zararlı madde kalıntılarının arındırılması, atık su tesisleri, soğuk hava deposu, hastane, hamam, otel odası, yüzme havuzu, havaalanı, okullar, kafeler, restoranlar gibi ortak kullanım alanlarının sterilizasyonu, sağlık alanında enfeksiyon giderme, kilo verme, dolaşım bozuklukları, cilt hastalıkları, nörolojik hastalıklar, zor iyileşen enfekte yaralar, fabrika baca kokularının giderilmesi, araç içerisindeki klima ve diğer etkenlerden kaynaklanan genel kokuların giderimi, tekstil endüstrisinde renk ağartma ve kumaş terbiyesi gibi işlemler, gıda endüstrisinde süt ürünleri fabrikalarında, et işleme tesislerinde, meyve-sebze tesislerinde, seralarda, şişe ve yemek kaplarının dezenfeksiyon işlemleri bulunmaktadır. Endüstrideki birçok firma, üniversite ve araştırma kurumlarında ozonun farklı alanlarda kullanılabilirliği hakkında AR-GE çalışmaları devam etmektedir [10-15].

Şu anda, ozonu yapay olarak üretmek mümkündür [16]. Ozon ticari olarak, korona akım metodu ve dielektrik bariyer deşarj metodu kullanılarak oksijen moleküllerinin (O_2) elektrik akımından geçirilmesiyle üretilmektedir [17,18]. Dielektrik malzeme ve metal elektrotlar arasında bulunan deşarj aralığında plazma oluşturulması prensibi ile çalışan dielektrik bariyer deşarj (DBD) plazma ozon cihazları, dezenfeksiyon ve sterilizasyon için kullanılabilen olup, pahalı vakum ekipmanı veya zararlı kimyasallar gerektirmediği için ekonomik ve çevre dostu bir seçenektir. Plazma ozonunun (O_3) sterilizasyonu, mikroorganizmaları fiziksel veya kimyasal işlemlerle yok eden veya büyümesini önleyen bir sterilizasyon tekniğidir [19].

Atmosfer basıncında AC deşarjı kullanan DBD plazma, daha fazla ısı üreten DC plazmaya kıyasla ısı üretim miktarını azaltabilir. Elektrotu çevreleyen dielektrik, düşük sıcaklıkta plazma üretmek için en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve atmosferik basınçta sürekli çalışma avantajına sahiptir [20]. Dielektrik bariyer deşarj yönteminin farklı konfigürasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.



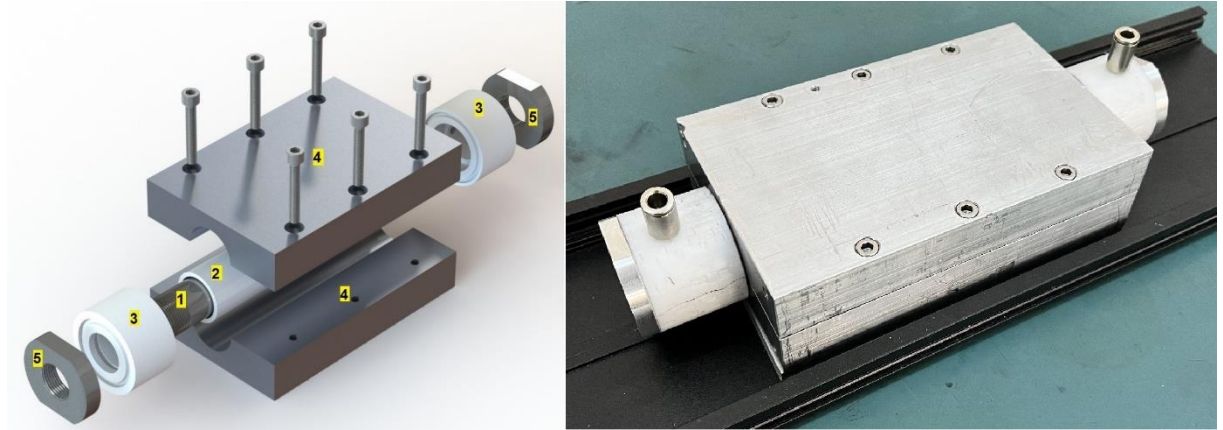
Şekil 2. Dielektrik bariyer deşarj yönteminin farklı uygulanma çeşitleri. [21].

Bu çalışmada alan sterilizasyonu amacı ile malzeme ve talaşlı imalat işlemleri açısından uygun maliyetli, ozonun aşındırıcı ve korozif etkilerine karşı en uzun dayanıma sahip ozon reaktörü tasarımı hedeflenmiştir. Ozon reaktörlerinde yaygın olarak kullanılan bir metot olan Corona deşarj yöntemi ile ozon oluşturmak yerine DBD yöntemi ile ozon oluşumu üzerine çalışılarak piyasadaki diğer cihazlardan tasarım ve yöntem açısından fark oluşturan bir cihaz ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

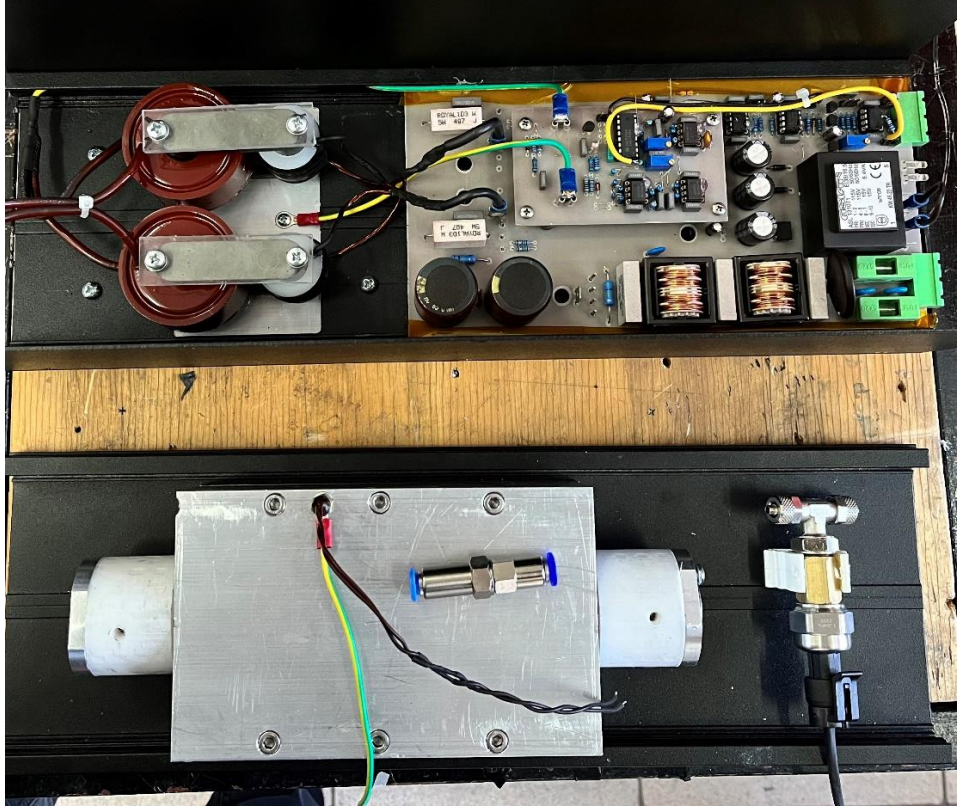
Bu çalışmada endüstriyel ortam sterilizasyonu alanında kullanılması amacıyla dielektrik bariyer deşarj yöntemiyle ozon üretimi amaçlanmıştır. Yapılan cihazın DBD türü silindirik hacimsel tek dielektrik bariyer deşarj olarak seçilmiş ve Solid Works programı yardımıyla tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1.). Tasarım aşamasında literatür taramaları ve uluslararası patentler incelenerek kullanılan ölçüler yapılan çalışmalardan farklı olarak ilerlemiştir.

Reaktörde kullanılacak malzemeler sırasıyla (Şekil 3.), yüksek voltaj elektrotunda 6XXX serisi alüminyum, dielektrik bariyerde seramik, sistem gaz giriş ve çıkışlarında teflon, topraklama elektrotunda 6XXX serisi alüminyum, yüksek voltaj girişinde de 6XXX serisi alüminyum olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. DBD ozon reaktörünün tasarımı ve montajlanmış halinin görünümü, 1) Yüksek Voltaj Elektrotu, 2) Dielektrik Bariyer, 3) Sistem Gaz Giriş ve Çıkışları, 4) Topraklama Elektrotu, 5) Yüksek Voltaj Girişi.

Seçilen malzemelere göre talaşlı imalat işlemi tamamlanan parçalar bir araya getirilmiş ve reaktörde kullanılacak olan kontrol kartı, yüksek akım trafosu ile birlikte sarf malzeme olarak tedarik edilen eloksallı alüminyum kutunun içerisine montajı yapılmıştır (Şekil 4.). Reaktör, kontrol kartı, yüksek akım trafosunun soğutulması amacıyla 80x80mm ölçülerinde 220V AC fan hava akımının kutunun içerisinden geçmesi için arka kapağa montajlanmıştır (Şekil 5.).



Şekil 4. Ozon reaktörü, yüksek akım trafosu ve kontrol kartının montajlanmış görünümü.



Şekil 5. DBD ozon cihazının ön ve arka görünüşleri.

Kontrol kartı ile yüksek akım trafosunun soğutulması için montaj yapıldığı kapağın diğer kısmına alüminyum soğutucu plaka montajı yapılmıştır. Kontrol kartına, yüksek akım trafosu ile fan bağlantısı, DBD ozon reaktörüne ise yüksek voltaj akım trafosu ile sisteme girecek hava ve ozon çıkış hattının bağlantı yapılması ile sistem deneme için hazır hale gelmiştir

(Şekil 6.). DBD ozon reaktörü için daha az ısı açığa çıkarması açısından avantajlı olan AC deşarjı kullanılmıştır. Üzerinde bulunan güç anahtarı yardımı ile AC 220V 50Hz veya AC 110V 60Hz değerlerindeki güçlerde çalışabilmektedir. İki güç değeriyle de denemeler yapılarak deşarj sırasında reaktör ile yüksek akım trafosundaki sıcaklık değerleri kızılötesi termometre yardımıyla ölçülmüş ve sisteme zarar verecek düzeydeki sıcaklık değerlerine rastlanmamıştır.



Şekil 6. Sistemin montajlanmış görünümü.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Tasarım ve üretim aşamaları tamamlanan DBD ozon reaktörünün sorunsuz çalıştığının kesinleştirilmesinin ardından oluşturulan ozonun etkinliğinin bağımsız bir kuruluş tarafından araştırılması amacı ile İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde bulunan Çevre Mühendisliği Bölümü Ölçüm Laboratuvarına test için gönderilmiştir. Burada Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde yüzeyde ve sıvıda uygulanmak üzere teste tabi tutulmuştur.

DBD ozon reaktöründen çıkan gaz halindeki ozonun ortam sterilizasyonundaki etkisinin ölçülmesi amacıyla yüzeydeki Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde test yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yüzeyde bulunan Enterovirüs bakteri giderme veriminin %89,90 olduğu yüzeyde bulunan Clostridium bakteri giderme veriminin ise %93 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yüzeyde uygulanan ozon işleminin test verileri ayrıntılı olarak Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. DBD ozon reaktörünün yüzeydeki etkinliğinin analiz sonuçları.

Plazma Türü	Ölçülen Değerler	Analiz Yöntemi
Enterovirüs Sayımı	T=0'da Enterovirüs Konsantrasyonu: $9,09 \times 10^3$ MPN/ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Enterovirüs Konsantrasyonu: $0,92 \times 10^3$ MPN/ml; Enterovirus Giderme Verimi: %89,90.	SM 9510 B, C, F, G
Clostridium Sayımı	T=0'da Clostridium Konsantrasyonu: $5,80 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Clostridium Konsantrasyonu: 4×10^2 adet koloni/100ml; Colostridium Giderme Verimi: %93.	TS 8020 EN 26461-2

DBD ozon reaktöründen çıkan gaz halindeki ozonun sıvılardaki sterilizasyon etkisinin ölçülmesi amacıyla sıvıda bulunan Enterovirüs ve Clostridium bakterileri üzerinde test yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yüzeyde bulunan Enterovirüs bakteri giderme veriminin %89,90 olduğu yüzeyde bulunan Clostridium bakteri giderme veriminin ise %61,30 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Yüzeyde uygulanan ozon işleminin test verileri ayrıntılı olarak Tablo 2.’de verilmiştir.

Tablo 2. DBD ozon reaktörünün sıvıdaki etkinliğinin analiz sonuçları.

Plazma Türü	Ölçülen Değerler	Analiz Yöntemi
Enterovirüs Sayımı	T=0’da Enterovirüs Konsantrasyonu: $9,09 \times 10^3$ MPN/ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile yüzeyde yapılan işlem sonrası Enterovirüs Konsantrasyonu: $0,92 \times 10^3$ MPN/ml; Enterovirus Giderme Verimi: %89,90.	SM 9510 B, C, F, G
Clostridium Sayımı	T=0’da Clostridium Konsantrasyonu: $6,2 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Plazma ve Ozon Sistemi ile sıvıda yapılan işlem sonrası Clostridium Konsantrasyonu: $2,4 \times 10^3$ adet koloni/100ml; Clostridium Giderme Verimi: %61,30.	TS 8020 EN 26461-2

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Analiz sonuçlarının da gösterdiği üzere tasarım ve imalatı tamamlanan ozon reaktörü kullanım amacına göre işlevini başarıyla yerine getirmiştir. Ortam havasının sterilizasyonu için tasarlanan bu cihazın, yüzey ve sıvı sterilizasyonunun gerektiği farklı alanlarda da kullanılabilir olduğu yorumu analiz sonuçlarına göre yapılabilmektedir. Literatürde bulunan diğer araştırmalardan farklı olarak, yüksek aşındırıcı ve korozif özelliğe sahip olan ozonun bu özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan araştırmalar sonucunda seçimi yapılan malzemelere ve tasarlanan reaktör bileşenlerine ayrıntılı olarak yer vermeye çalışılmıştır. Artan nüfusun ihtiyaçlarına göre sürekli gelişmekte olan endüstrinin ozona olan ihtiyacı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Ozonun farklı alanlardaki kullanımının artmasıyla, kullanım alanına göre deşarj tipi tercihi, ozon ve enerji verimliliğine göre çeşitlenecektir. Daha yüksek seviyelerde ozon üretimi için yapılan sistemlerin soğutma özelliklerinin artırılması yüksek güç ve yüksek basınçta kullanıma daha uygun hale getirerek ozon veriminin artacağı da öngörülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] E.S.M. Mouele, J.O. Tijani, O.O. Fatoba, L.F. Petrik, Degradation of organic pollutants and microorganisms from wastewater using different dielectric barrier discharge configurations-a critical review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (2015) 18345–18362,
- [2] Karaca H. 2006. Meyve ve Sebze İşlemede Ozon Uygulamaları. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora semineri, 28 s, Ankara.
- [3] Anonim. 2008. Ozon Sağlık Hizmetleri. www.ozon.com.tr (Erişim tarihi: 13.11.2023).
- [4] Sevilgen Ö. 2009. Ozon, Klor ve Hidrojen Peroksit Uygulamalarının Pazıda Klorofil Miktarı Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 75s, Ankara.
- [5] Restaino L., Frampton E. W., Hemphill J. B., Palnikar P. 1995. Efficacy of Ozonated Water Against Various Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (9): 3471–3475
- [6] Kim J. G., Yousef A. E., Dave S. 1999. Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, 62 (9): 1071-1087.
- [7] Cemeroglu B., Yemenicioğlu A., Özkan M. 2001. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No:24: 88-95, Ankara.
- [8] Mahapatra A. K., Muthukumarappan K., Julson J. L. 2005. Applications of Ozone, Bacteriocins and Irradiation in Food Processing: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 447– 461.
- [9] Anonim. 2023. How Ozone Was Formed First Of All. www.vedantu.com (Erişim tarihi: 16.11.2023).
- [10] Greene A. K., Few B. K., Serafini J. C. 1993. Ozonated vs Chlorinated Sanitization of Stainless Steel Surfaces Soiled with Milk Spoilage Organisms. *Journal of Dairy Science*, 76: 3617–3620.
- [11] Khadre M. A., Yousef A. E., Kim J. G. 2001. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*, 66 (9): 11243-1252
- [12] Rubin M. B. 2001. The History of Ozone. *Bulletin History Chemistry*, 26 (1): 40-56
- [13] Boci V. 2002. *Oxygen-Ozone Therapy: A Critical Evaluation*. Springer, 1-8.

- [14] Ketteringham L., Gausseres R., James S. J., James C. 2006. Application of Aqueous Ozon for Treating Pre-Cut Green Peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Engineering*, 76 (1): 104-111.
- [15] Kılıçer T. 2006. Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Atık Suyunun Aktif Karbon, Zeolit ve Ozon Kullanılarak Arıtımının İncelenmesi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Malatya
- [16] Çatal H., İbanoğlu Ş. 2010. Gıdaların Ozonlanması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 5(3): 47-55
- [17] Ekici L., Sağdıç O., Kesmen Z. 2006. Gıda Endüstrisinde Alternatif Bir Dezenfektan: Ozon. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1: 47-57.
- [18] Rice R. G., Robson C. M., Miller G. W., Hill A. G. 1981. Uses of Ozone in Drinking Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 73 (1): 44–57.
- [19] Kim K, Paik N, Kim Y, Yoo K (2018) Bactericidal efficacy of nonthermal DBD plasma on staphylococcus aureus and Escherichia coli. *J Korean Soc Occupational and Environ Hygiene* 28(1):61– 79.
- [20] Restaino L., Frampton E. W., Hemphill J. B., Palnikar P. 1995. Efficacy of Ozonated Water Against Various Food-Related Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (9): 3471–3475.
- [21] Getizmen Z., 2023. Dielektrik Bariyer Deşarj Paralel Plaka Yöntemi İle Soğuk Plazma Üretimi ve Optimizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65- 67s, İzmir.