



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **FARKLI TÜRDEKİ HAVA TEMİZLEME CİHAZLARININ BİYOAEROSOL GİDERİM ETKİNLİKLERİNİN KIYASLANMASI**

**EZGİ ÖĞÜN  
PARİSA BABAEI  
GÜLEN GÜLLÜ  
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**

# FARKLI TÜRDEKİ HAVA TEMİZLEME CİHAZLARININ BİYOAEROSOL GİDERİM ETKİNLİKLERİNİN KIYASLANMASI

*Comparison of Bioaerosol Removal Efficiencies of Various Air Cleaning Devices*

Ezgi ÖĞÜN  
Parisa BABAEL  
Gülen GÜLLÜ

## ÖZET

Kapalı ortam hava kirliliği çevre sağlığı riskleri arasında ilk beşte yer almaktadır. Bu riski azaltmak için en iyi yol, kirlenici kaynaklarını kontrol etmek ve ortamı havalandırmaktır. Bu tedbirler yetersiz ise, bir hava temizleme cihazı yararlı olabilmektedir. İç ortamlarda kullanılan hava temizleme cihazları havadaki alerjenleri, partikül madde, biyoaerosoller, koku ve gaz kirlenicilerin seviyelerinin kontrol edilmesine yardımcı olabilmektedir. Bu çalışmada, iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, piyasada satılan iki farklı türdeki, foto-plazma ve radikal üreterek hava temizlemeye yönelik geliştirilmiş portatif hava temizleme cihazlarının antimikrobiyal etkinliklerinin tespitine yönelik olarak yapılan deneysel çalışmaların sonuçları verilmektedir. İç ortamı temsil etmek üzere sızdırmaz özelliğe sahip 1m<sup>3</sup> hacimde camdan yapılmış bir oda modeli kullanılmıştır. İç ortamda en sık görülen mikroorganizmaların çözeltileri (*Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) nebulizatör sistemi ile cam reaktöre enjekte edilmiştir. Hava temizleme cihazlarının hem çalıştığı hem de çalışmadığı koşullarda cam odadan belirli aralıklarla biyoaerosol örnekleri alınarak ortamdaki bakterilerin konsantrasyon değişimi izlenmiştir. Sonuçlara göre incelemesi yapılan her iki hava temizleme cihazının da iç ortam havasında mikroorganizma konsantrasyonunun azalmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte foto plazma cihazı, serbest radikal üreten cihaza göre *E. coli*, *S. aureus* ve *A. baumannii* için sırasıyla %32,5 %17,4 ve %9,3 daha yüksek giderim etkinliği göstermiştir. Her iki cihazın da en yüksek giderim sağladığı tür *S. aureus* olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoaerosol, Hava dezenfeksiyon ünitesi, Hava temizleme cihazı, Kapalı ortam hava kirliliği, Foto-plazma, Hidroksil iyonu

## ABSTRACT

Indoor air pollution is within the top five environmental health risks. The best way to decrease this risk, is controlling the pollution sources and ventilate the area. If these precautions are inefficient, an air-cleaning device can be beneficial. Air cleaning devices used in the indoor environment can be helpful to control the range of pollutants such as allergens, particulate matter, bioaerosols and odor. In this study, the results of the experimental studies are given in order to detect the antimicrobial efficiency of two different commercially available portable air-cleaning device which are produced for the remediation of indoor air quality by the process of the production of photo-plasma and free radicals. A 1m<sup>3</sup>, hermetically sealed, glass room model was used to represent the indoor area. Suspensions of the most frequent microorganisms which were seen in the indoor environment (*Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) injected into the glass room model with the nebulizer system. In both the working and non-working conditions of the air-cleaning devices, bioaerosol samples were taken periodically from the glass room and the concentration change of the bacteria in the environment was monitored. According to the results, it was determined that both of air cleaning devices were effective in decreasing the concentration of microorganisms in the indoor air. In

addition to this, photoplasma device showed higher removal efficiencies of 32.5%, 17.4% and 9.3% for *E. coli*, *S. aureus* and *A. baumannii* respectively than free radical generator. Each devices showed the highest removal efficiency on *S. aureus*.

**Key Words:** Air-cleaning device; Air disinfection unit; bioaerosol; Hydroxyl; Indoor air pollution; Photoplasma.

## 1. GİRİŞ

Bakteri, mantar, mantar sporları virüsler, polen veya bunların endotoksin, mikotoksin ve VOC gibi bileşenlerinden oluşan tüm biyolojik kökenli tozlar biyoaerosol olarak adlandırılır [1]. İç ortam havasında biyoaerosollerin artmasının astım gibi solunum yolu hastalıklarına, astım hastalarının krizlerinin sıklaşmasına, hipersensitivite pnömonisi gibi alerjik hastalıklara ve hatta kansere neden olabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. İnsanların zamanlarının %80'den fazlasını kapalı ortamlarda geçirdikleri düşünüldüğünde iç ortam hava kalitesinin halk sağlığı üzerindeki etkileri göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Biyoaerosollerin iç ortama taşınımı kapı, pencere, klima ve havalandırma sistemleri, duvar açıklıkları ve tesisat borularından doğrudan veya ayakkabı ve kıyafetler ile dolaylı olarak gerçekleşebilir. Ortamdaki ısı, nem, oksijen seviyesi ve ışık miktarı, besin varlığı gibi etkenler ise mikroorganizmaların iç ortamda çoğalmasını etkiler [2]. Nem oranının %70'in üzerinde olması küf oluşma riskini arttırdığı için mutfak banyo gibi ıslak alanların iyi temizlenmesi ve kuru tutulması önemlidir.

Biyoaerosoller; tüy, polen, deri epiteli gibi bitkisel ve hayvansal dokulardan, toprak ve sudan kaynaklandıkları için her ortamda rahatlıkla bulunabilirler. Hava yoluyla yayılan mikroorganizmalar gıda işletmeleri ve hastanelerde, diş hekimliği kliniklerinde yoğun olarak bulunduğu için halk ve personel sağlığı açısından önemlidir [3]. Aerosollerin davranışına; büyüklüğü, şekli, yoğunluğu ve meteorolojik koşullar etki eder. 1-5  $\mu\text{m}$ 'den büyük partiküller çökelirken daha ufakları askıda kalabilir [1].

Biyoaerosoller içerisinde en büyük çoğunluğu bakteriler ve mantarlar oluşturmaktadır. Bakterilerin büyüklüğü 0,5-2,0  $\mu\text{m}$  çapındadır ve çoğunluğu 3  $\mu\text{m}$  çapından büyük partiküllerin içinde bulunur. Yerleşim yerlerindeki iç ortam biyoaerosol miktarı Avrupa Birliği limit değeri 5000 CFU/m<sup>3</sup> [3], ABD Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezi (CDC) limit değerleri ise toplam biyoaerosol partikülleri için 1000 CFU/m<sup>3</sup>tür [4]. Ankara'da çeşitli iç ortamlardan alınan biyoaerosol örnekleri üzerinde yapılan çalışmada *Micrococcus*, *Staphylococcus* ve *Bacillus* cinsi bakterilerin en sık gözlemlendiği bildirilmiştir [2].

Biyoaerosollerin iç ortamdan giderimi için kullanılan hava temizleyicileri; mekanik hava filtreleri ve elektronik hava temizleyicileri olarak iki tip olarak tanımlanabilir. Mekanik hava filtreleri, yüksek verimlilikte partiküllerin tutulduğu HEPA filtresi gibi, partiküllerin bir filtre üzerinde tutulması prensibine göre işletilmektedir. Pek çok mekanik filtre toz, polen, bazı mantar sporları, hayvan tüyü gibi kaba partiküller ve toz akarları ve hamamböceği alerjenleri içeren partiküllerin tutumunda yüksek verimlilikte çalışabilmektedir. Ancak, bu partiküller hızla yere çökebildiklerinden iç ortamdan bu kirleticilerin mekanik filtrelerle giderimi yüksek düzeyde gerçekleştirilememektedir. Ayrıca, filtre sistemlerinde belirli bir süre kullanımdan sonra filtre ortamı üzerinde biyoaerosollerin üremesi ve buna bağlı olarak kokuya neden olabilen ortama biyoaerosol yayan kaynak durumuna geçebilmeleri söz konusu olabilmektedir [5, 6].

Elektronik hava temizleyicileri, partiküllerin elektrostatik yıkayıcılar gibi elektrostatik güç ile tutumuna yönelik geliştirilen cihazlardır. İyon jeneratörü veya iyonlaştırıcılar, havaya negatif elektron yüklü iyonları yaymakta, bu iyonlar partiküllere yapışıp, partikülün perde, mobilya gibi yakındaki en yakın yüzeye yapışmasına neden olarak ortamdan uzaklaşmasını hızlandırır. Bazı elektronik hava temizleyicileri foto-plazma yöntemiyle akciğerde tahrişe neden olabilen ozon üretebilmektedir. İyon üreterek iç ortam hava kalitesini iyileştirmeye yönelik cihazların iç ortamda terpen kaynağı olduğu

durumda ultra ince partikül oluşumuna neden olduklarına yönelik sonuçlar laboratuvar ve ev ortamında yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [7, 8, 9].

Bu çalışmada, foto-plazma yöntemiyle ozon üreterek ortamdaki biyoaerosollerin gideriminin hedeflendiği bir hava temizleyici cihazı ile hidrojen peroksit sıvısının hidroksil radikale dönüştürülüp ortam hidroksil radikali salınan cihazın çeşitli bakteri türleri üzerindeki giderim etkinliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Cihazların uzun süreli kullanımı ve kullanım sırasında neden olabilecekleri ikincil kirletici oluşturma potansiyelleri bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Çalışma; biyoaerosol örneklerinin hazırlanması, oda modeli içerisine enjekte edilmesi, hava temizleme cihazlarının çalıştırılması, hava örneklerinin belirli aralıklar ile toplanması ve inkübe edilmesi ile bakteri sayımının yapılp verilerin analiz edilmesi aşamalarını kapsamaktadır.

#### 3.1. Bakteri Örneklerinin Hazırlanması ve Enjeksiyonu

İç ortamda sık rastlanan ve sağlık riski oluşturan bakteriler olmaları nedeniyle; *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers (ATCC® 25922™), *Staphylococcus aureus* subsp. aureus Rosenbach (ATCC® 29213™) ve *Acinetobacter baumannii* Bouvet and Grimont (ATCC® 19606™) suşları bakteri giderim etkinliği testlerinde kullanılmıştır. Ticari bir firmadan temin edilen suşlar, aseptik koşullarda açılıp rehidre edilmiş ve ATCC'de (American Type Culture Collection) suşa özgü olarak belirtilen koşullarda inkübe edilerek çoğaltılmıştır. Ortalama püskürtülecek bakteri süspansiyonunu hazırlamak için öncelikte katı besi yerinde üretilen suşlar sonra uygun sıvı besi yerine ekilmiştir. Üremenin ardından santrifüjlenerek besi ortamı uzaklaştırılmış ve dibe çöken biyokütle steril serum fizyolojik içerisinde çözülerek 20 ml'ye tamamlanmıştır. Oda içine verilen bakteri miktarının her tekrarda eşdeğer olabilmesi için Mc Farland densitometresi ile *E. coli* konsantrasyonları 2,6 MFU'ya ( $3,1 \times 10^9$  hücre/ml), *S. aureus* konsantrasyonları 1,5 MFU'ya ( $1,8 \times 10^9$  hücre/ml) ve *A. baumannii* ise 1 MFU'ya ( $1,2 \times 10^9$  hücre/ml) ayarlanmıştır. Hazırlanan bakteri süspansiyonları nebulizatör ile oda içerisine 10 dakika boyunca sabit debi ile enjekte edilmiştir. Cihazlı deneylerde; önce bakteri süspansiyonu oda içerisine nebulize edilmiş sonra cihaz çalışır hale getirilmiştir. Hava temizleme cihazları ve nebulizatör oda içerisinde yaklaşık olarak aynı yüksekliğe (yerden 40 cm) yerleştirilmiştir.

#### 3.2. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Hava temizleme cihazlarının incelenen bakteri türlerinin üzerindeki giderim etkinliğini test etmek amacı ile  $1\text{m}^3$  hacminde, küp şeklinde, sıkıştırılmış cam malzemeden yapılmış ve hava sızdırmazlığı sağlanmış bir oda, kapalı sistem modeli olarak kullanılmıştır. Odanın sterilizasyonu UV lamba ve HEPA filtreler ile sağlanmıştır. Odanın bir ucundan yüksek akış hızı ile vakumlanan havanın yerini HEPA filtreden geçen temiz ve kuru havanın alması ile ortam mikroorganizmalardan arındırılmış olur. Odanın içindeki sıcaklık ve nem durumu dijital bir sıcaklık ve nemölçer ile takip edilmiştir. Oda içerisine püskürtülen bakteri aerosolünün homojen dağılması için odanın zeminine yerleştirilen 4 adet fan kullanılmıştır. Deneyler; ortamda herhangi bir cihaz yokken ve varken ortama biyoaerosol verilmesi şeklinde iki deney seti üzerinden yürütülmüştür. Her iki deney setinde de öncelikle boş odadan örnek alınmıştır.

Kullanılan hava temizleme cihazlarından biri; hidrojen peroksit çözeltisinin, cihazın çok düşük seviyede anlık olarak ürettiği ozon ve diğer iyonlar ile reaksiyonu sonucu hidroksil radikallerinin oluşması ve bunların bakteri hücre yapısını bozması prensibine dayanır. Hidrojen peroksit cihaza sıvı olarak kartuş içinde yerleştirilir ve bittikçe yenilenmesi gerekir. Diğer cihaz doğrudan elektrige bağlanarak foto-kataliz, foto-plazma ve anyon teknolojileri ile serbest radikaller üretilip benzer şekilde hücre yapısını bozma prensibi ile çalışmaktadır. Fotokatalitik oksidasyon işlemi, UV lambasından gelen yüksek enerjili ışınlar,  $\text{TiO}_2$  içeren yarı iletken foto-katalizör tarafından soğrulur ve  $\text{OH}^\cdot$  radikalleri üretilir. Foto plazma teknolojisinde, UV ışınları ile plazma üretilir, pozitif ve negatif elektrik yüklerinin nötralizasyonu sonucunda açığa çıkan yüksek enerji çevredeki organik moleküllere transfer edilerek yapılarını bozar.

Anyon teknolojisinde ise doğru akımdaki yüksek voltaj kullanılarak oluşturulan yüksek elektronik korona, yüksek hıza sahip çok büyük miktarda elektronun açığa çıkmasına neden olur. Bu elektronlar havada uzun süre kalmaz ve oksijen molekülleri tarafından yakalanıp anyonları oluştururlar. Hidroksil radikalleri DNA zincirini parçalayarak hücrede hasara neden olurlar. Oluştuktan sonra çok kısa bir ömürleri olmasına rağmen çevredeki oksitlenebilir substratlar ile çarpışarak daha çok serbest radikalın oluşmasını sağlar ve böylece uzaktaki molekülleri de etkileyebilirler [10]. Bahsedilen cihazlardan ilki hidroksil üretim cihazı, ikincisi ise foto-plazma cihazı olarak adlandırılacaktır. Kullanılan hidroksil üretim cihazı 30 m<sup>3</sup>'e kadar olan ortamlarda etkinken, foto plazma cihazı 120 m<sup>2</sup>'ye kadar etkindir.



Şekil 1. Testlerin yapıldığı cam oda modeli

### 3.3. Örneklerin Alımı ve İnkübasyonu

Oda içerisinden biyoaerosol örneği alınması; NIOSH Method-0800 standart metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 28,3 L/dk debili SKC Quick Take 30 pompa ile SKC biyoimpaktör içine yerleştirilen petrideki besi yeri üzerine belirli bir süre boyunca ortam havası toplanmıştır. Bakteri süspansiyonu oda içerisine enjekte edilmeden önce, ortamda bulunması muhtemel mikroorganizmaları tespit etmek amacıyla arka plan ölçümleri olarak boş odadan örnek alınmıştır. Enjeksiyondan hemen sonra t=0 anında ilk örnek alınmış ve ardından belirli periyotlarda biyoaerosol örnekleri alınmaya devam edilmiştir. Cihazlı ölçümler ise enjeksiyonun hemen ardından odaya cihazın yerleştirilmesi ile aynı şekilde devam etmiştir. Besi yeri olarak *E. coli* için insan kanlı agar, *Staphylococcus aureus* ve *Acinetobacter baumannii* için ise plate count agar kullanılmıştır. Örnekler alınıp uygun koşullarda inkübe edildikten sonra petri üzerinde üreyen koloniler sayılarak koloni oluşma birimi (CFU) üzerinden CFU/m<sup>3</sup> olarak konsantrasyon hesabı yapılmıştır. Deneyler arasında, oda havası HEPA filtre ile ve yüzeyler %95 saflıkta etanol ile sterilize edilmiştir.

### 3.4. Verilerin Analizi

Oda modeli içindeki bakteri konsantrasyonu örneklerin inkübasyonu sonrasında koloni sayımı yapılması ile hesaplanmıştır. Deneyler üç kez tekrar edilmiş, diğer sonuçlara göre hata payını yükseltmesi durumunda örneklerden biri sonuçlardan çıkarılmıştır. Oda içerisindeki koloni sayısı eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$C_c = \left( C_s \times V_c / t_s \times Q_p \right) - C_b \quad (1)$$

Burada C<sub>c</sub> odadaki koloni sayısı (CFU), C<sub>s</sub> örnekteki koloni sayısı (CFU), C<sub>b</sub> boş odadaki koloni sayısı (CFU) V<sub>c</sub> odanın hacmi (lt), t<sub>s</sub> örnekleme süresi (dk) ve Q<sub>p</sub> pompanın debisine (lt/dk) karşılık gelmektedir. Cihazlı ve cihazsız ortamdaki bakteri giderim verimi (C<sub>0</sub>-C<sub>t</sub>)/C<sub>0</sub>×100 eşitliğine göre hesaplanmıştır. Burada C<sub>0</sub> başlangıç (t=0) anındaki koloni sayısını, C<sub>t</sub> ise herhangi bir t zamanındaki koloni sayısını vermektedir.

## 4. SONUÇLAR

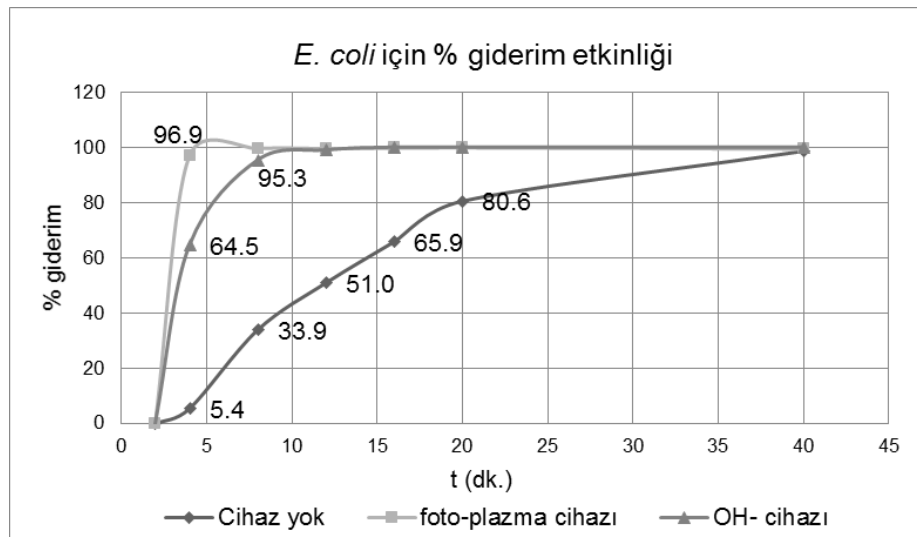
### 4.1. *E. coli* Giderim Etkinliği Sonuçları

Hazırlanan cihazlı ve cihazsız deney setleri için, 39 dakika boyunca alınan örneklerde üreyen toplam *E. coli* CFU sayısı, 1 m<sup>3</sup>'lük oda için hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama değerler, Tablo 1'de verilmiştir. Foto-plazma ve hidroksil cihazı için zamanla koloni sayılarındaki azalma tabloda görülmektedir.

**Tablo 1.** *E. coli* için, cihazlı ve cihazsız ortamlarda, model oda içindeki koloni sayılarının, zamanla değişimi.

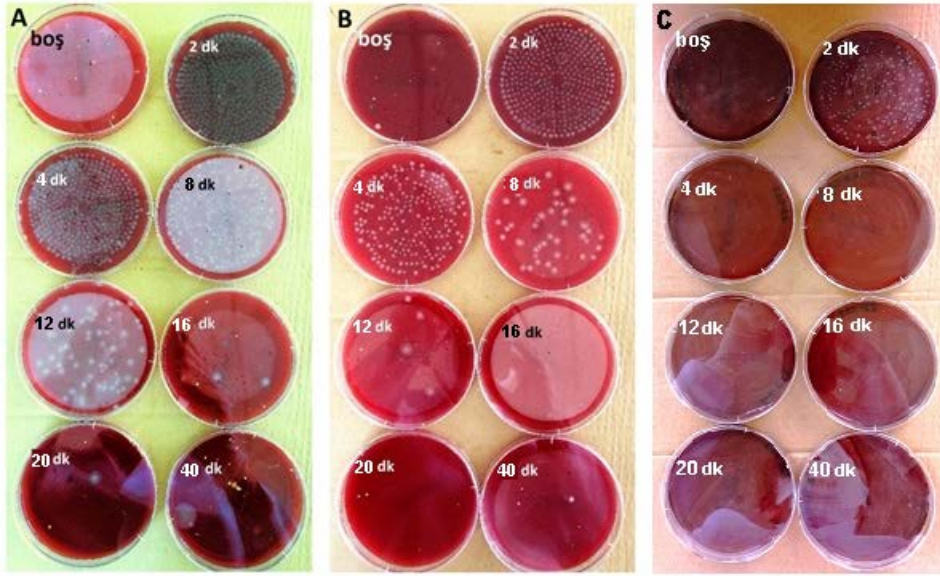
Süre (Dakika)	Cihaz yok (ort CFU)	Foto-plazma cihazı (ort. CFU)	OH- cihazı (ort. CFU)
2	6972	5076	6158
4	6601	156	2189
8	4635	14	286
12	3456	14	61
16	2407	6	0
20	1369	0	0
40	90	0	0

*E. coli* gideriminde; her iki hava temizleme cihazının da ortamda hiçbir cihaz olmaması durumuna göre daha etkin olduğu Şekil 2'de görülmektedir. %95'in üzerinde *E. coli* giderimi foto-plazma cihazı 4. dakikadan, hidroksil cihazı için ise 8. dakikadan sonra sağlanırken cihazsız ortamda tüm bakterilerin çökmesi 40. dakikayı bulmuştur. Ortamda hiçbir hava temizleyici cihaz olmaması durumuna göre foto-plazma cihazının ( $C_{\text{cihazlı}} - C_{\text{cihazsız}}$ ) %91,5 daha etkin, OH<sup>-</sup> cihazının ise %59,1 daha etkin olduğu hesaplanmıştır. Foto-plazma cihazının, OH<sup>-</sup> cihazına göre *E. coli* giderimi üzerindeki etkinliği ise %32,5 daha fazladır ve bu etkinin 4. dakikada gerçekleştiği görülmüştür. Oda içerisine enjekte edilen bakteri süspansiyonları oda içerisinde hava sirkülasyonu olmasına rağmen yer çekiminin etkisi ile belli bir süre sonra yüzeyler üzerine çökmektedir. Bu nedenle cihazsız ortamda herhangi bir hücre parçalanması olmasa da koloni sayısının düştüğü görülmektedir.



**Şekil 2.** Oda içerisinde foto-plazma ve hidroksil cihazları varken ve yokken *E. coli* % giderim verimlerinin karşılaştırılması

Cihazlı ve cihazsız ortamlardan alınan hava numunelerinin petripler üzerinde oluşturduğu kolonilerin fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir. Kanlı agar'da inkübe edilen *E. coli* kolonilerinin cihazlı ortamda daha az ürediği görülmektedir.



**Şekil 3.** *E. coli* giderim testi ekim sonuçları. A, Ortamda cihaz yokken, B OH- cihazı, C ise foto-plazma cihazı varlığında üreyen kolonileri göstermektedir. Örneklerin alındığı dakikalar petriplerin sol üst köşesine eklenmiştir.

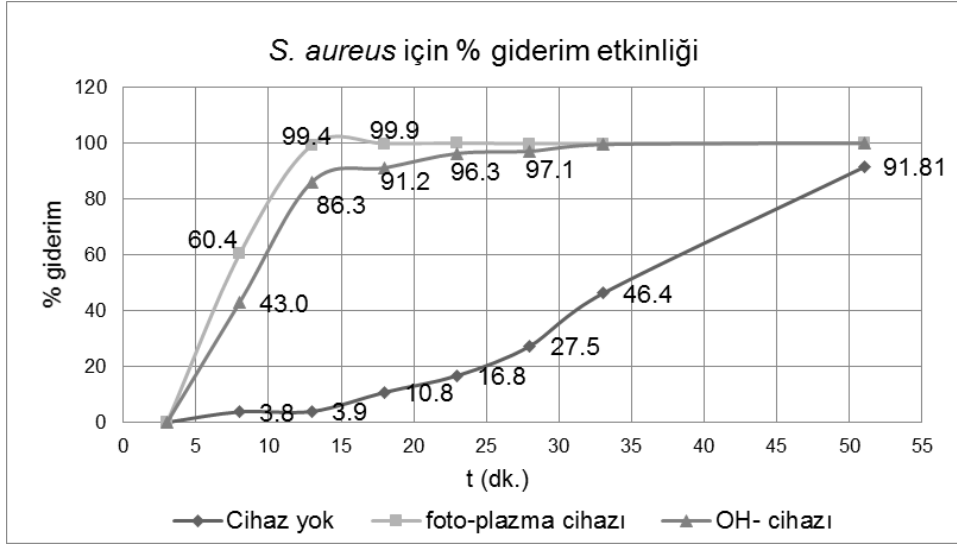
#### 4.2. *S. aureus* Giderim Etkinliği Sonuçları

Hazırlanan cihazlı ve cihazsız deney setleri için, 30 dakika boyunca alınan örneklerde üreyen toplam *S. aureus* CFU sayısı, 1 m<sup>3</sup>'lük oda için hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama değerler, Tablo 2'de verilmiştir. Foto-plazma ve hidroksil cihazı çalışırken oda içerisinde koloni sayılarının azalması tabloda görülmektedir.

**Tablo 2.** *S. aureus* için, cihazlı ve cihazsız ortamlarda, model oda içindeki koloni sayılarının, zamanla değişimi.

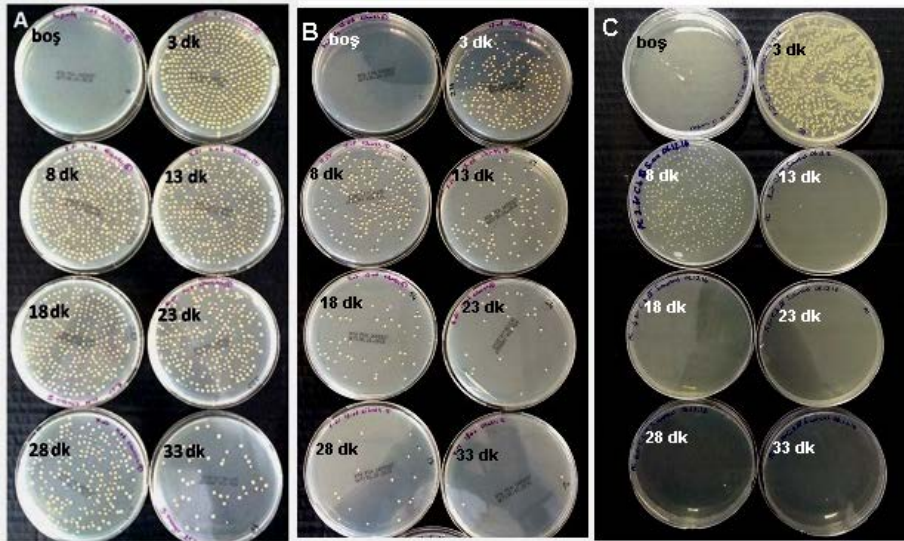
Süre (Dakika)	Cihaz yok (ort CFU)	Foto-plazma cihazı (ort. CFU)	OH- cihazı (ort. CFU)
0	4681	4708	2576
5	4504	1863	1468
10	4495	26	353
15	4171	2	228
20	3892	0	94
25	3391	2	75
30	2511	2	12

*E.coli*'de olduğu gibi *S. aureus* gideriminde de her iki hava temizleme cihazının da ortamda hiçbir cihaz olmaması durumuna göre daha etkin olduğu Şekil 4'te görülmektedir. Foto plazma cihazı 13. dakikada %99'luk giderim sağlamışken hidroksil cihazının bu etkiyi sağlaması 30 dakikayı bulmuştur. Cihazsız ortamda ise 51 dakikada geçmesine rağmen ortamdaki tüm bakterilerin çökmediği, %92 oranında *S. aureus* giderimi olduğu görülmektedir. Ortamda hiçbir hava temizleyici cihaz olmaması durumuna göre foto-plazma cihazının ( $C_{\text{cihazlı}} - C_{\text{cihazsız}}$ ) %95,5, OH<sup>-</sup> cihazının ise %82,3 daha etkin olduğu hesaplanmıştır. Foto-plazma cihazının, OH<sup>-</sup> cihazına göre *S. aureus* giderimi üzerindeki etkinliğinin 8. dakikada %17,4 daha fazla olduğu görülmektedir. Bakteri hücre büyüklükleri türden türe farklılık gösterdiğinden dolayı, her türün çökme hızı farklıdır. Cihazsız ortamda *S. aureus'un E. coli*'ye göre daha geç çökmesi bu nedenden kaynaklanıyor olabilir.



**Şekil 4.** Oda içerisinde foto-plazma ve hidroksil cihazları varken ve yokken *S. aureus* % giderim verimlerinin karşılaştırılması

*S. aureus* için, cihazlı ve cihazsız ortamlardan alınan hava numunelerinin petri ler üzerinde oluşturduğu kolonilerin fotoğrafları şekil 5'te verilmiştir. "Plate count" agarda inkübe edilen *S. aureus* kolonilerinin foto-plazma cihazı çalışan ortamda diğer deney setlerine göre daha az oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 5.** *S. aureus* giderim testi ekim sonuçları. A, Ortamda cihaz yokken, B OH- cihazı, C ise foto-plazma cihazı varlığında üreyen kolonileri göstermektedir. Örneklerin alındığı dakikalar petri lerin sol üst köşesine eklenmiştir.

#### 4.3. *A. baumannii* Giderim Etkinliği Sonuçları

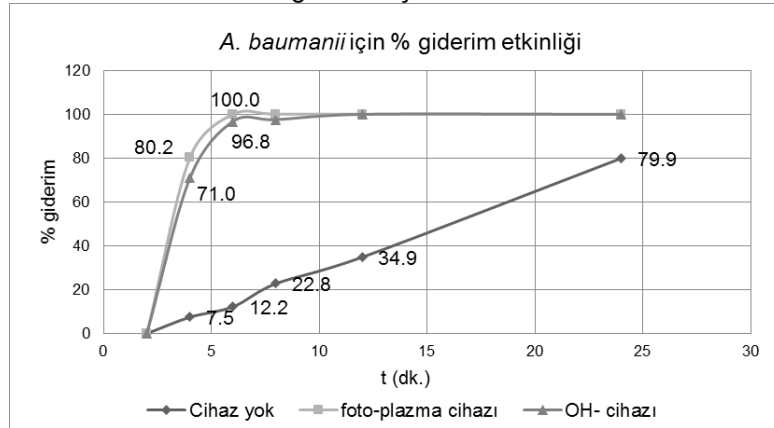
Hazırlanan cihazlı ve cihazsız deney setleri için, 24 dakika boyunca alınan örneklerde üreyen toplam *A. baumannii* CFU sayısı, 1 m<sup>3</sup>lük oda için hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama değerler, Tablo 3'te verilmiştir. Foto-plazma ve hidroksil cihazı çalışırken oda içerisinde koloni sayılarının cihazsız ortama göre daha hızlı azalması Tablo 3'te görülmektedir.



**Tablo 3.** *A. baumannii* için, cihazlı ve cihazsız ortamlarda, model oda içindeki koloni sayılarının, zamanla değişimi.

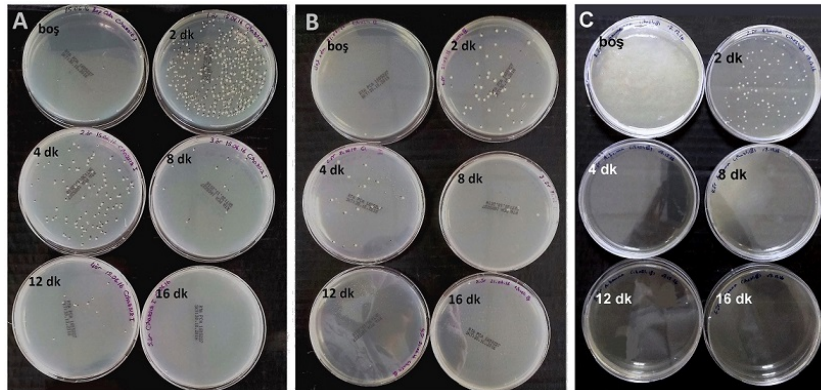
Süre (Dakika)	Cihaz yok (ort CFU)	Foto-plazma cihazı (ort. CFU)	OH- cihazı (ort. CFU)
2	7012	7046	1095
4	6490	1392	318
6	6159	2	35
8	5421	0	27
12	4582	2	0
24	1415	0	0

Diğer bakteri türlerinde olduğu gibi *A. baumannii* gideriminde de her iki hava temizleme cihazının ortamda hiçbir cihaz olmaması durumuna göre çok daha etkin olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Her iki cihaz da 6. dakikada %95'in üzerinde bakteri giderimi sağlamıştır. Cihazsız ortamda ise 24. dakikada yalnızca %80'lik bir çökme olduğu hesaplanmıştır. Ortamda hiçbir hava temizleyici cihaz olmaması durumuna göre foto-plazma cihazının ( $C_{\text{cihazlı}} - C_{\text{cihazsız}}$ ) %87,7, OH<sup>-</sup> cihazının ise %84,5 daha etkin olduğu hesaplanmıştır. Foto-plazma cihazının, OH<sup>-</sup> cihazına göre *S. aureus* giderimi üzerindeki etkinliğinin 4. dakikada %9,3 daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer türlere göre en iki cihaz arasındaki en düşük etkinlik farkı bu türde gözlenmiştir.



**Şekil 6.** Oda içerisinde foto-plazma ve hidroksil cihazları varken ve yokken *A.baumannii* % giderim verimlerinin karşılaştırılması.

*A. baumannii* için, cihazlı ve cihazsız ortamlardan alınan hava numunelerinin petripler üzerinde oluşturduğu kolonilerin fotoğrafları şekil 7'de verilmiştir. "Plate count" agarda inkübe edilen kolonilerin her iki cihazda da benzer oluşum gösterdiği fotoğraflarda görülmektedir.



**Şekil 7.** *A. baumannii* giderim testi ekim sonuçları. A, Ortamda cihaz yokken, B OH- cihazı, C ise foto-plazma cihazı varlığında üreyen kolonileri göstermektedir. Örneklerin alındığı dakikalar petriplerin sol üst köşesine eklenmiştir.

## 5. TARTIŞMA

Tüm deney setleri incelendiğinde her iki hava temizleme cihazının da bakteri giderimi üzerinde yüksek etkinlik gösterdiği görülmüştür. Her iki cihazın da en yüksek etkinlik gösterdiği tür *S. aureus* olarak hesaplanmıştır. Herhangi bir serbest radikal giderimi olmayan ortamda 0,1 – 2 µm arasında büyüklüğe sahip ince partiküllerin yer çekimi etkisi ile çökmesi doğal bir giderim mekanizmasıdır. Mikroorganizmalar yüzeylere çöktüklerinden dolayı, etkin bir temizlik için hava temizleme cihazlarının yanında periyodik yüzey temizliği de önem taşımaktadır [11]. Bakteri hücreleri genel olarak 0,2 µm çapında ve 2 – 8 µm uzunluğunda olduklarından yer çekimi ile çökebilirler. Deney setlerinde kullanılan bakteriler hücre büyüklüklerine göre farklı çökme hızı göstermişlerdir. *E. coli* çubuk şeklinde ve 2 µm'den uzun hücrelere sahip olduğundan %80'i 20 dakikada en hızlı çöken tür olmuştur. Ardından 1-2 µm'lik kısa çubuk şeklide olan *A. baumannii* hücreleri gelir ve %80'i 24 dakikada çöker. Son olarak, 1 µm'den küçük kok şeklindeki hücrelerinin %80'i yaklaşık 45 dakikada çöken *S. aureus*, en yavaş çöken tür olmuştur [12]. Foto-plazma cihazı her üç bakteri türü için de hidroksil cihazına göre daha yüksek etkinlik göstermiştir. Bu cihaz *E. coli* için 4. Dakikadan sonra, *S.aureus* için 13. Dakikadan sonra, *A. baumannii* için ise 6. Dakikadan sonra %95'in üzerinde giderim yapmıştır. Hidroksil cihazının ise *E.coli*, *S. aureus*, *A. baumannii* için %95'in üzerinde giderim etkinliği sırasıyla, 8., 23. ve 6. Dakikalardan sonra gerçekleşmiştir. Foto-plazma teknolojisinde, TiO<sub>2</sub>'in katalitik reaksiyonu ile OH radikalleri ortaya çıkar [13]. Çalışmada kullanılan foto-plazma cihazı hem OH<sup>-</sup> hem de negatif iyon üretme özelliği ile çalıştırılmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada hem ozon hem de negatif iyonların giderim etkisi birlikte çalıştırıldığında sinerjik bir etki oluşturduğu görülmüştür [14]. Bu durumda, deneyde kullanılan foto-plazma cihazı da sinerjik etki göstermiş ve sadece OH<sup>-</sup> iyonu üreten diğer hava temizleme cihazına göre bu nedenle, daha yüksek etkinlik göstermiş olabilir. OH<sup>-</sup> radikalleri, hücre zar yapısını bozarak giderim sağladığı için farklı hücre yapısındaki türlerin gideriminde farklı etkiler görülmekte ve her türün sterilizasyonu için farklı doz ve maruziyet süreleri gerekmektedir [15]. Bu nedenle hazırlanan düzenekte gram negatif bakteriler olan *E. coli* ve *A. baumannii* türlerinin giderim süreleri birbirine yakınken, gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus*'un giderim süresi daha uzundur.

Çalışmada kullanılan hava temizleme cihazları, ortam havasını patojen mikroorganizmalardan arındırmalarının yanı sıra, bazı istenmeyen yan ürünlerin oluşumuna neden oldukları için dezavantajlı olabilir. Fotokatalitik oksidasyonda açığa çıkan ·OH, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ·O<sub>2</sub> gibi reaktif oksijen türleri; patojenler, uçucu organik bileşikler (UOB) ve inorganik kirleticileri okside etmesi ile oluşan son ürünler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'dur. Ancak oksidasyon tamamlanmadığında; alkoller, aldehitler ve ketonlar, aromatikler ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazları ile sülfürlü ve klorlu yan ürünler oluşabilir [16, 17, 18]. UV ile ışınlanan TiO<sub>2</sub> yüzeylerinin oluşturduğu radikaller havada su buharı bulunması durumunda bakteri hücrelerini parçalayarak karbondioksit ve suyun yanında mineral asitleri oluşturur [17]. Yapılan birçok çalışmada UV-fotokatalitik oksidasyon sonucunda yan ürün olarak asetaldehit, metanol, aseton, benzoik asit, formaldehit, asetik asit ve formik asit ile iz miktarda benzen, benzaldehit, benzil alkol oluştuğu gösterilmiştir [18]. İyonizasyon yoluyla hava temizleyen cihazlarda ise havanın iyonlaşması sonucu ozon üretimi görülebilir ve ozon kendi başına ciddi sağlık problemleri oluşturan bir kirletici olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra iç ortamda bulunan UOB'ler ile ozonun reaksiyonu sonucu terpen göz ve solunum yolunda tahrişe neden olan ikincil ürünler oluşabilir. Ortamda ozon ve UOB varlığında partikül maddelerin kütle ve sayısı artar. Bu nedenle, iyon teknolojisi ile hava temizleyen cihazlar bir yandan partikül maddeleri ortadan kaldırırken diğer yandan oluşumuna neden olabilir. Bu durumda, yeni oluşan partikül miktarının, cihaz çalışmadan önceki partikül miktarından fazla olmaması gerekir [19]. Plazma kataliz sistemleri ile UOB giderimi sırasında da CO, O<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi zararlı yan ürünler oluşabilir. Ancak bu sorunu çözmek için plazma ön işlem konfigürasyonu ile yüksek seçicilik sağlanarak bu yan ürünlerin ortadan kaldırılabilirdiği gösterilmiştir [20].

literatürdeki bilgilere dayanarak, hava temizleme cihazlarının iç ortamda havasında zararlı yan ürünlerin oluşmasına neden olabileceği görülmektedir. Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda, oluşması muhtemel yan ürünler analiz edilmeli ve cihaz etkinliği bunun üzerinden değerlendirilmelidir. Farklı serbest radikallerin bakteri hücre yapısını hangi şekilde bozarak sterilizasyon sağladıkları da incelenmesi gereken konulardan biridir. Yapılan çalışma patojenlerin havadaki giderimini göstermektedir. Ancak yer çekimi etkisi ile yüzeylere çöken patojenlerin giderimini incelemek için sonraki çalışmalarda yüzey testleri de yapılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

- [1] MENTEŞE S., RAD A.Y., ARISOY M., GÜLLÜ G., “Ankara Şehir Atmosferinde Biyoaerosol Seviyelerinin Mekansal Değişimi”, *Ekoloji* 19, 73, 21-28, 2009.
- [2] MENTEŞE S., GÜLLÜ G., “İç Ortam Havasında Biyoaerosol Düzeyleri”, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s:359-365, 2008.
- [3] ALÇAY A.Ü., YALÇIN S., “İç Ortam Havası Biyoaerosolleri ve Mikrobiyal Hava Kalitesi Ölçüm Metodları”, *ABMYO Dergisi*, 39:17-30, 2015.
- [4] YASSIN M.F., ALMOUQATE A S., “Assessment of airborne bacteria and fungi in an indoor and outdoor environment”, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7:3, p:535-544, ISSN: 1735-1472, 2010.
- [5] HYTTINEN, M., P. PASANEN, M. BJORKROTH, P. KALLIOKOSKI, Odors and volatile organic compounds released from ventilation filters, *Atmos. Environ.*, 41, 4029-4039, 2007.
- [6] SIMMONS, R.B., and S.A. CROW, Fungal colonization of air filters for use in heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) systems, *J. Ind. Microbiol.*, 14, 41-45, 1995.
- [7] ALSHAWA, A., A.R. RUSSELL, S.A. NIZKORODOV Kinetic analysis of competition between aerosol particle removal and generation by ionization air purifiers, *Environ. Sci. Technol.*, 41, 2498-2504, 2007.
- [8] WARING, M.S., WARING, J.A. SIEGEL, R.L. CORSI, Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners, *Atmos. Environ.*, 42, 5003-5014, 2008.
- [9] WARING, M.S., and J.A. SIEGEL, The effect of an indoor air quality in a residential room, *Indoor Air*, 21, 267-276, 2011.
- [10] WONG, V., STANIFORTH, K., BOSWELL T.C., “Environmental contamination and airborne microbial counts: a role for hydroxyl radical disinfection units?”, *Journal of Hospital Infection*, 78, 194 – 199, 2011.
- [11] GRINSHUPUN, S. A., MAINELIS, G., TRUNOV, M., ADHIKARI, A., REPONEN, T. and WILLEKE, K., “Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces” *Indoor Air*, 15: 235–245. doi:10.1111/j.1600-0668.2005.00364.x, 2005.
- [12] Midlands Technical College, Functional Anatomy Of Prokaryotic And Eukaryotic Cells, Son erişim tarihi: Ocak 2017 <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap04/lecture2.htm>, 2012.
- [13] WANG, LEILEI, SHIJUN YOU, and SHICHANG LU. "Experimental Study on Sterilization Performance of Compound Air Cleaner." *2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. IEEE, 2009.
- [14] FAN, L., SONG, J., HILDEBRAND, P.D. and FORNEY, C.F., “Interaction of ozone and negative air ions to control micro-organisms” *Journal of Applied Microbiology*, 93: 144–148. doi:10.1046/j.1365-2672.2002.01683.x, 2002.
- [15] BAI, M., ZHANG, Z., TIAN, Y., & BAI, M., “Rapidly eliminating pathogenic microorganisms in large air space using spraying• OH radicals” *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(4), 393-397, 2012.
- [16] REN H., KOSHY P., CHEN W.F., QI S., SORRELL C.C., “Photocatalytic materials and technologies for air purification” *Journal of Hazardous Materials*, 325(5), 340-366, ISSN:0304-3894, 2017.
- [17] PASCHOALINO, M.P. and JARDIM, W.F. “Indoor air disinfection using a polyester supported TiO<sub>2</sub> photo-reactor” *Indoor Air*, 18: 473–479, doi:10.1111/j.1600-0668.2008.00548.x, 2008.
- [18] FARHANIAN D., HAGHIGHAT F., “Photocatalytic oxidation air cleaner: Identification and quantification of by-products” *Building and Environment*, 72: 34-43, ISSN 0360-1323, 2014.
- [19] ALSHAWA A., RUSSELL A.R., NIZKORODOV S.A., “Kinetic Analysis of Competition between Aerosol Particle Removal and Generation by Ionization Air Purifiers”, *Environmental Science & Technology*, 41(7): 2498-2504, DOI [10.1021/es061760y](https://doi.org/10.1021/es061760y), 2007.
- [20] CHEN, H.L., et al. "Removal of volatile organic compounds by single-stage and two-stage plasma catalysis systems: a review of the performance enhancement mechanisms, current status, and suitable applications." *Environmental science & technology* 43(7): 2216-2227, 2009.



## ÖZGEÇMİŞ

### Ezgi ÖĞÜN

1987 İstanbul doğumludur. 2008 yılında Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında aynı Üniversitenin Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansını tamamlamıştır ve yine aynı bölümde doktora öğrenimine devam etmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri, biyoelektrokimyasal sistemler, sulardan biyolojik olarak ağır metal giderimi, tatlısu ekosistemlerinden sera gazı salımı, iç ortam hava kalitesi konularında çalışmaktadır.

### Parisa BABAEI

1980 yılı Salmas, İRAN doğumludur. 2006 yılında Lahijan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansını tamamlamıştır.

### Gülen GÜLLÜ

Dr. Gülen Güllü, 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor unvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987-1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996-1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik unvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosuna atanmıştır ve halen aynı bölümde öğretim üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir. Dr. Güllü, atmosferik kirlilik taşınımı, atmosfer kimyası, iç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır. Dr. Güllü, birçok ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmakta, Avrupa Birliğinin eşleştirme programlarında Hava Kalitesi konularında uzman olarak görev almaktadır. Dr. Güllü, atmosfer kimyası, çevresel veri analizi, çevresel etki değerlendirmesi, çevre kimyası, hava kirliliği kontrol prosesleri ve iklim değişikliği konularında yüksek lisans ve doktora dersleri vermektedir.