



# UV-C Işınlı Hava Dezenfeksiyon Cihazının Patojenler Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Ahmet Kutsal Erdoğan<sup>1\*</sup>, Oğuz Dalkıran<sup>2</sup>, Mustafa Özdemir<sup>3</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, virüs, bakteri, küf ve mantar gibi insan sağlığına zararlı organizmaları yok etmek ve iç ortam hava kalitesinin yükseltilmesi amacı ile, UV-C lamba, EU4, EU9 ve karbon filtre içeren hava temizleme cihazı tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan deney cihazının, ofis ortamında bulunması muhtemel farklı tip patojenler üzerindeki etkinliği hesaplanmıştır. Cihazın etkinliğinin ölçülebilmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyler TS EN ISO/IEC 17025 standartları kapsamında gerçekleştirilmiştir. Test içeriği EN ISO 14698-1:2003 standartları kapsamında planlanmıştır. Dezenfeksiyon cihazının 1 saatlik çalışması sonucunda ortamdaki patojen miktarında %23 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Hesaplanan değerler ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** UV-C, filtreleme, hava temizleme cihazı, dezenfeksiyon

## Experimental Investigation of the Effects of UV-C Irradiation Air Disinfection Device on Pathogens

### ABSTRACT

In this study, an air purification device was designed by using UV-C lamp, EU4, EU9 and carbon filter in order to eliminate organisms that harmful to human health such as viruses, bacteria, mold and fungi and to increase indoor air quality. The efficiency of the experimental device on different types of pathogens likely to be found in the office environment has been calculated. Experimental studies have been carried out to measure the effectiveness of the device. The tests were carried out within the scope of TS EN ISO / IEC 17025 standards. Test content is planned within the scope of EN ISO 14698-1: 2003 standards. As a result of the 1 hour operation of the device, a 23% reduction in the amount of pathogens in the environment was observed. Consistent results were obtained when the calculated values were compared with the experimental results.

**Keywords:** UV-C, filtering, air purifying device, disinfection

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 13.09.2021

Kabul/Accepted : 21.01.2022

<sup>1</sup> TMS Endüstriyel Soğutma - Sanayi, Pendik/İstanbul  
k Erdogan@tmsgrup.com, ORCID: 0000-0002-8043-0160

<sup>2</sup> TMS Endüstriyel Soğutma - Sanayi, Pendik/İstanbul  
odalkiran@tmsgrup.com, ORCID: 0000-0003-1888-9939

<sup>3</sup> Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
ozdemirmu4@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2255-8705



## EXTENDED ABSTRACT

### 1. Introduction

Traditional methods aiming to neutralize harmful microorganisms such as viruses, bacteria and fungi may not achieve effective results in every environment. Only air-conditioning is done with air conditioners working in places where adequate ventilation cannot be provided. The ambient air is polluted because of the dirty air circulation. “Airborne” pathogens, which move with the air circulation, can spread very quickly in offices and buildings where people are crowded. It has been seen more clearly with the Covid-19 pandemic that this situation poses a great threat. Ultraviolet light disinfection can be used to neutralize organisms that current methods have not been successful in eradicating.

### 2. Objectives

In this study, an air disinfection device has been designed with the ability to inactivate pathogens likely to be found in office environments with UV-C radiation. In the design, studies in the literature and especially Kowalski's studies were used. In order to show to what extent the designed device can disinfect the air, experiments were carried out within the scope of TS EN ISO / IEC 17025 standards. The test content is planned within the scope of EN ISO 14698-1:2003 standards.

### 3. Methods

The ultraviolet air disinfection device used in experimental studies basically consists of three parts: the air suction part, the air disinfection part and the blowing part. The device has a fan, EU4 filter, EU9 filter, UV-Lamp and active carbon filter. In order to eliminate the destructive effect of ultraviolet radiation on living things, ray breakers are used in the section where the UV lamp is located.

The length and width of the room where the experiments were carried out were 6.8 meters and 4.2 meters, respectively, and its height was 2.7 meters. The device is mounted on the ceiling of the room. Three petri dishes were placed under the device, one each in the blowing and suction parts.

Before the prototype device was operated, three petri dishes were kept open for 10 minutes to collect anaerobic bacteria and mold fungi in the room air. After these dishes were collected, the device was operated for 1 hour. Then, new petri dishes were placed in the same locations. These petri dishes were also collected after a waiting period of 10 minutes.

In the design of the device, the Kowalski (2009) handbook was used. The Efficiency of the UVC Device is calculated by taking into account the Bacteria, Fungi and Virus Types that are frequently encountered in offices.

### 4. Results

According to the EN ISO 14698-1:2003 standard, where the experimental study was carried out, the number of colonies in the petri dish is determined after a certain period of time. After operating the UV-C device for 1 hour, 23% less colonies grow in petri dishes placed in the room compared to the previous ones. It is observed that this device destroys a certain number of pathogens in the air.

The rate of destruction of pathogens, which are in the EN ISO 14698-1:2003 standard and to be observed during the tests, were determined in the designed device. For example, *Saccharomyces cerevisiae* can be destroyed at a rate of 99.7%, while the fungus *Aspergillus niger* can be destroyed at a rate of 8.4%. It has been calculated that *Escherichia coli* bacteria can be destroyed 99.9% and *Bacillus subtilis* bacterial spores can be destroyed by 90% with the device.

In the experimental studies of the UV-C device, its effect on bacteria and fungi given in the standard was investigated. Based on this, theoretical calculations were also made for the Corona virus. Since the UV constant value of the corona virus ( $k = 0.37700 \text{ m}^2/\text{J}$ ) [8], the rate of destruction of the virus in the device was calculated as 99.9% theoretically.

### 5. Discussion and Conclusions

In this study, an air disinfection device with UV-C radiation was designed in order to provide air disinfection.



tion and improve air quality for offices and public buildings. In order to measure the effectiveness of the device, experimental studies were carried out within the scope of TS EN ISO / IEC 17025 standards.

At the end of 1 hour, a total decrease of 23% was detected in the number of microorganisms. In the offices, it is predicted that the rate of decrease in the number of microorganisms as a result of the 1-hour operation of the device will be higher in long-term operation. The consistent results are obtained when the calculated pathogen disinfection rates are compared with the experimental rates. Based on this situation, the theoretical destruction rate for the Corona virus in the device has been calculated as 99.9%. It can be concluded that the UV-C air disinfection device, which was examined experimentally in this study, is suitable for use in offices and public buildings.



## 1. GİRİŞ

Virüs, bakteri ve mantar gibi zararlı mikroorganizmaları etkisiz hale getirmeyi amaçlayan geleneksel yöntemler ile her ortamda etkili sonuçlara ulaşılamayabilir. Klima santralleri ile iç ortam havasının ortamdaki alınılarak yerine temiz hava ihtiyacının sağlanması, yüzeylerin kimyasal dezenfektanlar ile temizlenmesi uygulamaları geleneksel olarak uygulanan yöntemlerdir. Hava kanalı yapılabilecek altyapısı bulunmayan ve bu sebeple yeterli havalandırma yapılamayan mahallerde, kirli hava sirkülasyonu sonucu hava kalitesi olması gerekenin çok altına düşer. Bu mahallere yerleştirilen iklimler ile sadece iklimlendirme yapılmakta hatta bir süre sonra filtreleri zararlı mikroorganizmaların çoğaldığı bir yer haline gelmektedir. Yetersiz hava sirkülasyonu sebebi ile kirli havanın ortamda kalması, uygun seçilmemiş veya kirlenmiş filtreler, oda içinde hava dağıtımının yeterli olarak sağlanamaması, yüzeylerde uygulama sonrası dezenfektan kalıntıları insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Hava dolaşımı ile hareket eden “hava kaynaklı” patojenlerin, insanların kalabalık olarak bulunduğu ofis ve çalışma ortamlarında çok hızlı yayılabildikleri ve ne derece büyük tehdit oluşturdukları Covid-19 pandemisi ile daha net görülmüştür. Mevcut yöntemlerin yok etmekte başarılı olamadığı organizmaları etkisiz hale getirmek için farklı yöntemlere başvurulması gerekliliği oluşmuştur. Ultraviyole ışığı ile dezenfeksiyon yöntemleri geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabilir [1].

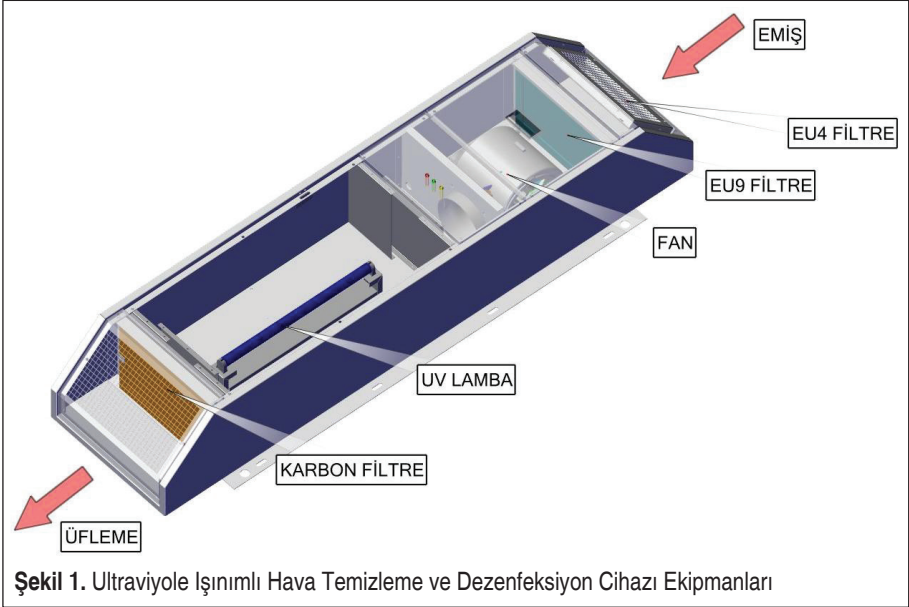
20. yüzyılda UV-C alanında artarak devam eden çalışmalar, Riley'nin (1957) [2] UV ile tüberküloz mikrobunun yayılımının engellenebildiğini göstermesini takip ederek hızlanmıştır. Anderson (1959) [3] tarafından klima sistemlerinde mikrobiyolojik ajanların oluşabileceği ve solunum yolu enfeksiyonlarına neden olabileceği sunuldu. Mikropların, havalandırma kanalları içindeki filtreler ve toz gibi diğer ekipmanlarda büyümesi ilk kez Whyte (1968) [4] tarafından gösterilmiştir. Luciano (1977) [5], UV lambalarının özellikle soğutma bobinlerinin yukarı ve filtrelerin aşağı yönüne yerleştirildiği hastane uygulamaları dahil olmak üzere birçok UVGI uygulamasını ayrıntılı olarak açıkladı. Phillips (1985) [6], mikrobiyal artışın kontrolü için UV lambalarının uygulamalarının ilk tanımlayıcı tanımının sunulduğu bir tasarım kılavuzu yayınladı. 2003 yılında, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), UV hava ve yüzey dezenfeksiyonuna odaklanmak için bir görev grubu oluşturdu (Martin ve diğerleri, 2008) [7]. Literatürde, UV-C kullanımının teorik ve deneysel olarak incelendiği en çok bilinen çalışmaları Kowalski, gerçekleştirmiştir. Doktora çalışmasında ve kitabında, hava ve yüzey dezenfeksiyonu için ultraviyole lambanın kullanımı, tasarımı ve hesap yöntemlerini ele almıştır [8, 12, 13]. Ultraviyole teknolojisinin el kitabı niteliğinde olan çalışmalarında, patojenlerin özellikleri, dezenfeksiyon yöntemleri, tasarım parametreleri, ultraviyole kullanımında güvenlik kriterleri ve deneysel sonuçlar her açıdan incelenmiş ve yol gösterici kaynak haline almıştır. UV-C etkinliğinin deneysel olarak ortaya koyulması ve patojenler üzerindeki kesin etkinliğinin belirlenmesi elzemdir. Teorik olarak yapılan hesaplamaların saha-

daki uygulamalar ile karşılaştırılması üretilen cihazlara olan güveni artırması yönünden önemli bir hal almıştır [8, 14].

Bu çalışmada, ofis ortamlarında bulunması muhtemel patojenleri, UV-C ışınımı ile etkisizleştirme kabiliyetine sahip hava dezenfeksiyon cihazı tasarımı yapılmıştır. Tasarımda Kowalski'nin çalışmalarından faydalanılmıştır. Deneysel olarak etkinliği ölçülen cihazın, mikroorganizmaları yok etmede etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## 2. DENEYLERDE KULLANILAN DEZENFEKSİYON CİHAZININ ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmalarda kullanılan ultraviyole hava dezenfeksiyon cihazı Şekil 1.'de şematik olarak gösterilmiştir. Cihaz, hava emiş kısmı, hava dezenfeksiyon kısmı ve üfleme kısmı olmak üzere temelde üç bölümden oluşmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi, cihazda fan, EU4 filtre, EU9 filtre, UV-Lamba ve aktif karbon filtre bulunmaktadır. Emiş kısmında, ortamda bulunan partikülleri engellemek amacı ile EU9 filtre kullanılmıştır. Fanın ses seviyesini azaltmak için fan bölmesine ses izolasyonu yapılmıştır. Ultraviyole ışınımının canlılar üzerindeki yıkıcı etkisini yok etmek için UV lambanın bulunduğu kısımda ışın kırıcılar kullanılmış ve lambanın bulunduğu bölmenin kapağı çift cidarlı olarak tasarlanmıştır. Işının ve havanın birleşim noktalarından dışarı çıkmaması için izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Havanın üflendiği kısımda ise ortamda bulunabilecek kokuyu filtrelemek için aktif karbon filtre kullanılmıştır.



Şekil 1. Ultraviyole Işınlı Hava Temizleme ve Dezenfeksiyon Cihazı Ekipmanları

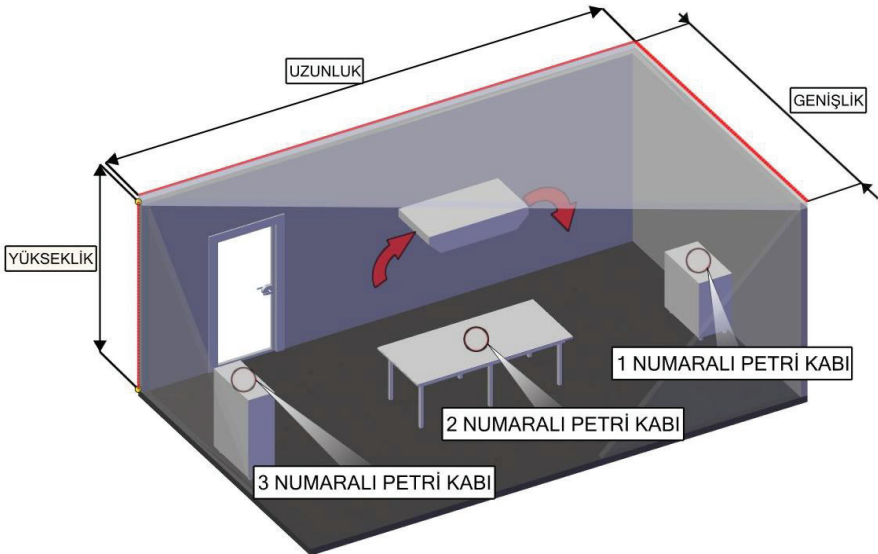
Cihaz içerisinde bulunan fan çalışmaya başladığında üniteye giren ortam havası EU4 sınıfı ön filtreden geçerek toz ve büyük partiküller tutulur. EU4 sınıfı filtre, TS EN779 standardına uygun olarak %90'ın üzerinde bir oranda tozu (3-10  $\mu\text{m}$ ) tutma özelliğine sahiptir. Hava, ön filtrelemeden geçtikten sonra ince filtreye ulaşır. EU9 sınıfı filtre, büyük bakteri ve küf mantarı gibi mikroorganizmaları yakalayabilir. TS EN779 standardına uygun olarak üretilen EU9 sınıfı duyarlı filtreler 0,4  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip partikülleri %95'in üzerinde bir oranda tutma özelliğine sahiptir. Bu filtreler ayrıca belirli oranlarda 0,2- 0,3  $\mu\text{m}$  partikülleri tutabilirler. Ancak standarda göre beyan 0,4 m partikül boyutuna göre verilmektedir. Sonrasında hava dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirileceği UV lambanın bulunduğu bölmeye geçer ve burada içerisinde bulunan patojenlerden arındırılır. Son olarak koku önleyici ve ortam havasının kalitesini artıran aktif karbon filtreden geçirek ortama verilir [9].

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1 Deney Düzenegi ve Test Ortamı

Şekil 2'de, deneyin yapıldığı oda içerisinde ultraviyole ışınımlı dezenfeksiyon cihazı ve petri kaplarının yerleşimi görülmektedir. Test odasının uzunluk ve genişlik ölçüleri sırasıyla 6,8 metre ve 4,2 metre olmak üzere, yüksekliği 2,7 metredir.

Cihaz, odanın tavanına monte edilmiştir. Üç adet petri kabı Şekil 2'de görüleceği



Şekil 2. Deney Düzenegi ve Test Ortamı

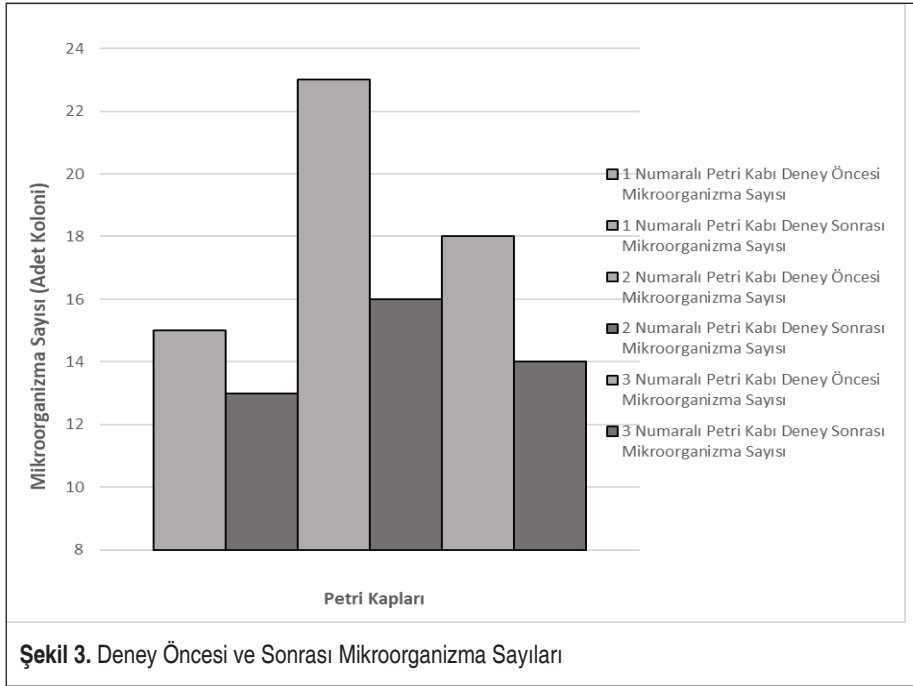
üzere, cihazın altına, üfleme ve emiş yapacağı kısımlara birer adet yerleştirilmiştir.

### 3.2 Deneyin Yapılışı

Farklı özellikteki filtrelerle ve 4 adet 15 Watt gücünde UV-C lambalarına sahip prototip cihaz, TS EN ISO/IEC 17025 (Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler) standartları kapsamında planlanmıştır. Test içeriği EN ISO 14698-1:2003 standartları kapsamında test edilmiştir. Testler bağımsız bir test kuruluşu tarafından yürütülmüş ve raporlanmıştır [10] [11].

28,6 m<sup>2</sup>'lik bir oda içerisinde tavana monte edilen prototip cihaz çalıştırılmadan önce oda içerisinde havada bulunan anaerobik bakteri ve küf mantarlarını toplamak için 3 farklı bölgeye petri kapları yerleştirilmiştir. 2 numaralı petri kabı cihazın üfleme ağzı ile dikey olarak aynı hizada ve cihazdan 1,8 metre aşağıdadır.

Petri kaplarının yerleştirilmesi ve ağzlarının açılmasından sonra cihaz çalıştırılmadan önce 10 dakika beklenerek ölçüm alınmıştır. Ölçüm bitiminde petri kapları toplanarak cihaz 1 saat boyunca çalıştırılmıştır. 1 saatlik sürenin tamamlanması sonrası tekrar oda içerisine girilerek cihaz kapatılmış ve yeni petri kapları aynı bölgelere konulmuştur. 10 dakika bekleme süresi sonrası bu petri kapları da toplanmıştır. Böylelikle test tamamlanmıştır.



Şekil 3. Deney Öncesi ve Sonrası Mikroorganizma Sayıları



### 3.3 Deneysel Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda petri kaplarında bulunan bakteri ve mantarların sayısı gözlenmiştir. Petri kaplarında bulunan mikroorganizma sayıları Şekil 3'te verilmiştir.

Deneysel sonuçlar incelendiğinde, cihaz 1 saat çalıştırdıktan sonraki durumda sayılan mikroorganizma koloni adetleri, cihaz çalıştırılmadan önce sayılan mikroorganizma koloni adetlerine oranla düşüş göstermiştir. Tüm petri kaplarında, cihazın çalışmasının koloni sayılarını azalttığı görülmektedir.

Tablo 1'de deneysel sonuçların bulunduğu tablo verilmiştir. Tabloda, 3 kaptaki toplam mikroorganizma sayıları görülmektedir. Mikroorganizma sayısında 1 saatin sonunda toplamda %23 lük bir azalma tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Deneysel Sonuçlar

Zaman	Bakteri-Mantar Toplam Patojen Sayısı	Yüzdeler Azalma (%)
Deneysel öncesi	56	23
Deneysel sonrası	43	

## 4. HESAPLAR

Deneysel cihazı tasarlanmadan önce ofis gibi mahaller başta olmak üzere, insanların toplu olarak bulunabileceği mahallerde patojenleri yok etme oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda Kowalski (2009) el kitabından yararlanılmıştır [8].

### 4.1 Ofislerdeki Bakteri, Mantar ve Virüs Tipleri

Ofisler ve endüstriyel tesisler gibi insanların topluca bulunduğu ortamlarda rastlanabilecek başlıca bakteri, mantar ve virüs çeşitlerinin Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere pek çok farklı mikroorganizma ile mahallerde karşılaşabilmektedir. Bu patojenler ciddi enfeksiyonlara yol açabilmekte ve ortamın hava kalitesini düşürmektedir [8].

### 4.2 Oda içindeki UVC Cihazının Etkinliğinin Hesaplanması

Prototip test cihazının tasarımında SARS-CoV-2 başta olmak üzere, mahallerde sık rastlanan bakteri, mantar ve virüs türlerinin yüksek oranda yok edilebilmesi için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. [8]

Ofis ortamının alanına bağlı olarak sirküle edilmesi gereken hava debisi 1 numaralı denklemde gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [8].



**Tablo 2.** Kapalı Mekanlarda Bulunan Başlıca Bakteri Mantar ve Virüsler [8]

Patojen	Tür	Bulunabileceği Ortam	Enfeksiyon Riski
Aspergillus	Fungi	Kağıt, tekstil ürünleri, yiyecek	Toksik
Acinetobacter	Bakteri	Hava, yüzeyler, kirlı ortamlar	Patojen
Bacillus	Bakteri	İnsan, tekstil ürünleri	Alerji
Citrobacter	Bakteri	Kitap, kağıt	Patojen
Escherichia coli	Bakteri	Mahaller, klimalar	Toksik
Microbacterium phlei	Bakteri	Hava	Patojen
Streptococcus	Bakteri	Kitap, yüzeyler	Patojen
İnfluenza A	Virüs	İnsan	Pnömani
Legionella pneumophila	Bakteri	Küflü ve nemli mahaller, klimalar	Pnömani
SARS-CoV-2	Virüs	İnsan	Pnömani
Hepatit-A	Virüs	İnsan	Patojen
Penicillium	Fungi	Deri yüzeyler, eşyalar	Alerji
Saccharomyces cerevisiae	Bakteri	Mahaller, klimalar	Toksik
Ustilago	Fungi	Cam yüzeyler	Toksik

$$Q = Cv \times FA \quad (1)$$

Burada Cv katsayısı 0,335 m/dak'dır. Bu durumda ortam için gerekli hava debisi; Bulunur. 28,6 m<sup>2</sup> alanına sahip ofis için cihazın sağlaması gereken hava debisi 575 m<sup>3</sup>/h olarak hesaplanmıştır.

Gerekli UV-C lamba gücünün hesabı için Kowalski (2009) (sf.451) hava debisine bağlı olarak öngörülen UV-C lamba gücü bir grafikte verilmektedir [8]. Bu grafiğe;

$$Q = 0,335 \times 28,6 \times 60 = 575 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2)$$

Şeklinde doğrusal bir eğri uydurulmuştur. Burada Q, m<sup>3</sup>/h ve UVP, Watt birimindedir. Böylece 575 m<sup>3</sup>/h debi için UV-C lamba gücü 7,5 Watt olarak hesaplanmıştır. Kowalski (2009) (sf.184) [8] verilen lamba etkinliği 0,31 olarak hesaplara dahil edilmiştir ve 24 Watt güç gerektiği hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle lamba, harcadığı 24W elektrik

gücünün 7,5 Watt'lık kısmını UVC ışınım olarak, kalan kısmı ise ısı ışınım olarak çevreye yaymaktadır. UV-C gücü daha yüksek bir prototip cihaz için 60 Watt'lık lamba gücü kullanılmıştır. Bu durumda cihazın UV-C gücü 18,6 W olmaktadır.

Cihaza giren Q hacimsel debisindeki havanın UV-C ışınımına maruz kalma süresi bilinmemiştir. Havanın, cihazın akış doğrultusundaki cihaz uzunluğunun, cihaza giren havanın ortalama hızına oranı, cihaza giren havanın cihaz içinde kalma süresini verir. Bunu Kowalski daha basit olarak cihaz hacminin havanın hacimsel debisine oranı olarak vermektedir. Giren havanın cihazdan çıkma süresi cihaz hacmine bağlı olarak 3 numaralı denklemden hesaplanmaktadır [8].

$$UVP = -0,64 + 0,014 \times Q \quad (3)$$

Deney cihazında UV-C lambanın olduğu bölümün kanal ölçüleri 0,8 metre (W) ve 0,25 metre (H) ve kanal uzunluğu (L) 0,6 metredir. Hava debisi ise 575 m<sup>3</sup>/h olduğundan;

Maruz kalma süresi bulunur [8]. Bu süre içinde hava ile taşınan tozlar üzerindeki patojenlerin üzerine gelen UV-C ışınım şiddetinin bilinmesi gereklidir. Lambadan yansıyan ışınım ve duvarlardan yansıyan ışınım da göz önüne alınarak toz üzerine gelen ışınım Tablo 3 yardımıyla belirlenebilir.

**Tablo 3.** Kare Kesitli Kanalda Ortalama Gelen UV Işınım Şiddeti [8]

Kare Kesitli Kanal Alanı = 1 m <sup>2</sup>					
Kanal Uzunluğu m	UVP W	I <sub>m</sub> , W/m <sup>2</sup>	ρ=0%	ρ=50%	ρ=75%
	ft				
0.5	1.6	60	27.37	41.00	53.57
1	3.3		27.03	46.97	65.32

Lamba hücresinin duvarları galvaniz sac malzemeden yapılmış olup bu yüzeylerin ışınım yansıtma oranı olarak hesaba katılmıştır. Kanal uzunluğumuz 0,6 m olduğundan Tablo 3'e göre enterpolasyonla birim kesit alanı için gelen ışınım şiddeti  $41 + (0,6 - 0,5) / (1 - 0,5) \times (46,97 - 41) = 42,194$  W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanır. Kanal kesit alanı 0,2 m<sup>2</sup> olduğuna göre ışınım şiddeti  $42,194 / 0,2 = 211$  W/m<sup>2</sup> olarak gelen ışınım şiddeti bulunur.

Ultraviyole ışınımın yok edici etkisi için Kovalski (2009) verdiği 4 numaralı denklem ile hesaplanmaktadır [8].

$$RR = 1 - e^{-k \times I_m \times E_t} \quad (4)$$

**Tablo 4.** Test Standardında İzlenen Mikroorganizmalar ve Hesaplanan Yok Edilme Oranları [11]

Patojen	Tür	Yok Edilme Oranı
Saccharomyces cerevisae	Mantar	%99,7
Aspergillus niger	Mantar	%8,4
Escherichia coli	Bakteri	%99,9
Bacillus subtilis	Bakteri Sporu	%90

Bu denklemden elde edilen değer cihaz içerisinde yok edilebilecek % patojen miktarını ifade etmektedir. Yani cihazda yok edilen patojenin cihaza giren patojen miktarına oranıdır.

EN ISO 14698-1:2003 standardında bulunan ve testler sırasında gözlemlenecek olan patojenler Tablo 4'te verilmiştir. Patojenlerin, tasarlanan cihaz içerisinde yok edilme oranları 4 numaralı denkleme göre hesaplanmış ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

İki adet mantar, bir adet bakteri sporu ve bir adet bakteri için hesaplama yapılmıştır. Yok edilme oranlarına bakıldığında tasarlanan cihaz iki ayrı mantar türü üzerinde birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Tasarlanan cihaz ile farklı tür mikroorganizmalar üzerinde farklı sonuçlar elde edileceği görülmektedir. Saccharomyces cerevisae mantar türünün yok edilme oranı %99,7 iken farklı bir mantar türü olan Aspergillus niger'in yok edilme oranı %8,4 bulunur. Bakteri ve bakteri sporları için sırasıyla %99,9 ve %90 yok edilme oranları hesaplanmıştır. 4 patojen için ortalama yok edilme oranı yaklaşık %75 olarak hesaplanmaktadır. Yok edilme oranlarına bakıldığında standartta belirtilen patojenler üzerinde etkili bir cihaz olduğu görülmektedir.

EN ISO 14698-1:2003 standardına göre belirli süre sonunda petri kabındaki koloni sayısı bulunmaktadır. UV-C cihazı 1 saat çalıştırdıktan sonra ortama konulan petri kaplarında önekilere göre %23 oranında daha az koloni üremektedir. Bu cihazın havadaki belirli sayıda patojeni yok ettiği gözlemlenmektedir. Cihaz 575 m<sup>3</sup>/h'lik debiye göre oda içerisindeki havayı 1 saat içerisinde 6 kez dolaştırdığını göstermektedir. Ancak cihazın emiş ve üfleme ağzlarına göre oda içerisindeki hava sirkülasyonu çok karmaşık olacaktır. Bu sebeple içinde patojenler bulunduğu havanın tamamı cihazdan geçemeyecektir. Ayrıca lamba hücresi içinden geçen ve tozlar üzerindeki patojenlerde UV-C ışınımına yeterince maruz kalmayabilir.

UV-C ışınımlı hava dezenfeksiyon cihazının deneysel çalışmalarında, standartta verilen bakteri ve mantarlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buradan yola çıkarak güncel bir sorun olması sebebiyle teorik hesaplamalar Korona virüs için de yapılmıştır. Korona virüsün UV sabiti değeri ( $k = 0,37700 \text{ m}^2/\text{J}$ ) [8] olduğundan cihaz içinde virüsün yok edilme oranı teorik olarak;



$$RR = 1 - e^{-0,37700 \times 210 \times 0,54} = 0,999$$

Hesaplanır.

## SONUÇ

Bu çalışmada insanların toplu olarak bulunduğu ofis ve mahaller için hava dezenfeksiyonunu sağlamak ve hava kalitesini iyileştirmek amacı ile UV-C ışımlı hava dezenfeksiyon cihazı tasarımı yapılmıştır. UV-C lamba, EU4, EU9 ve karbon filtre içeren cihazın patojenler üzerindeki etkinliği literatürdeki kaynaklara göre hesaplanmıştır. Cihazın etkinliğinin ölçülebilmesi için, TS EN ISO/IEC 17025 standartları kapsamında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Mikroorganizma sayısında 1 saatin sonunda toplamda %23 lük bir azalma tespit edilmiştir. Ofis ortamında, cihazın 1 saatlik çalışması sonucu mikroorganizma sayılarındaki düşüş oranlarının uzun süreli çalışmada daha yüksek olacağı öngörülmektedir. Hesaplanan patojen yok etme oranları ile deneysel oranlar karşılaştırıldığında tutarlı sonuçlar elde edilmektedir. Bu durumdan yola çıkarak Korona virüs için cihazda teorik yok edilme oranı %99,9 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada deneysel olarak incelenen UV-C hava dezenfeksiyon cihazının ofis ve mahallerde kullanımının uygun olduğu sonucuna varılabilir.

## SEMBOLLER

$C_v$	Hız katsayısı (m/dak)
$E_t$	Maruz kalma süresi (s)
$FA$	Mahal zemin alanı (m <sup>2</sup> )
$H$	Cihaz kanal yüksekliği (m)
$Im$	Işınım şiddeti (W/m <sup>2</sup> )
$k$	UV sabiti (m <sup>2</sup> /J)
$L$	Cihaz kanal uzunluğu (m)
$Q$	Hava debisi (m <sup>3</sup> /dak)
$RR$	Yok edilme oranı (%)
$UVP$	lamba gücü (W)
$W$	Cihaz kanal genişliği (m)
$\rho$	Yansıtma oranı (%)



## KAYNAKÇA

1. ASHRAE Handbook., “HVAC Applications. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers” (Chapter 60), USA, 2015.
2. **Riley, R., Wells, W., Mills, C., Nyka, W., Mclean, R.** 1957. “Air hygiene in tuberculosis: Quantitative studies of infectivity and control in a pilot ward”, *Am Rev Tuberc Pulmon*, 75:420–431.
3. **Anderson, K.** 1959. “Pseudomonas pyocyanea disseminated form an air cooling apparatus”, *Med J Aus*, 1:529.
4. **Whyte, W.** 1968. “Bacteriological aspects of air-conditioning plants”, *J Hyg*, 66:567–584.,
5. **Luciano, JR.** 1977. “Air Contamination Control in Hospitals”, Plenum Press, New York, USA,
6. **Philips.** 1985. “UVGI Catalog and Design Guide”, Catalog No, U.D.C. 628.9., NETHERLANDS.
7. **Martin, S., Dunn C., Friehaut J., Bahnfleth W., Lau J., Nedeljkovic A.** 2008. “Ultra-violet germicidal irradiation: current best practices”, *ASHRAE J*, August:28–36.
8. **Kowalski, W.** 2009. “Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, USA.
9. TS EN 779, “Hava filtreleri - Genel havalandırmada parçacık filtrelemek için - Filtreleme performansının tayini” isimli standart,
10. TS EN ISO/IEC 17025, “Deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliliği için genel şartlar” isimli standart
11. EN ISO 14698-1:2003, “Temiz odalar ve ilgili kontrollü ortamlar-biyokontaminasyon kontrolü Bölüm 1: Genel ilkeler ve yöntemler” isimli standart
12. **Kowalski, W.J.** 2001. “Design and Optimization of UVGI Air Disinfection Systems”, PhD Thesis, The Pennsylvania State University.
13. **Kowalski, W.J., Bahnfleth, W.P.** 2000. “Effective UVGI System Design Through Improved Modeling”, *ASHRAE TRANSACTIONS* 106, 1-10.
14. **Ekren O., Toksoy M.** “UVC ile Dezenfeksiyon Teknolojisi: Teori Ve Tasarım Temelleri”, *Kapalı Hacimlerde ve İklimlendirme Sistemlerinde Ultraviyole Işınım ile Dezenfeksiyon Teori ve Pratik* Editörler: Macit Toksoy, Sait C. Sofuoğlu, Z. Haktan Karadeniz, Orhan Ekren, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın No: 40, 97-118, 29-30 Mayıs 2021.*