

# UV-C SİSTEMLERİ DEZENFEKSİYON AMAÇLI KULLANIMI VE KURALLARI

Serdar Uzgur<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

Ultraviyole (UV) ışınları, görünmez bir radyasyon formu olan güneş ışığının bir parçasıdır. UV ışınları cilt hücrelerinin yapısına nüfuz edebilir ve değiştirebilir. Üç tür UV ışınları vardır: ultraviyole A (UVA), ultraviyole B (UVB) ve ultraviyole C (UVC). UVA, dünya yüzeyindeki en bol güneş radyasyon kaynağıdır ve insan derisinin üst tabakasının altına işleyebilir.

Bilim adamları, UVA radyasyonlarının bağ dokusuna zarar verebileceğine ve bir kişinin cilt kanserine yakalanma riskini artırabileceğine inanmaktadır.

UVB ışınları, cilde daha az işleyebilir, ancak yine de bazı cilt kanseri formlarına neden olabilir.

Doğal UVC ışınları ise, Dünya atmosferi tarafından emildiğinden, canlılar için risk oluşturmaz [1].

Mor ötesi (UV) ışınım yapan lambaların neredeyse 100 yıl kadar süredir çeşitli amaçlar için kullanıldığı bilinmektedir. Bu yazıda özellikle, yan etkileri dışında UV-C adıyla

bilinen sistemlerin dezenfeksiyon ve sterilizasyon amaçlı kullanımı konusunda birtakım kurallar tanımlanmıştır.

## 2. UV IŞINIMI TAYFI VE KULLANIM AMAÇLARI

Güneşin ışık çıkışının yaklaşık yüzde 10'una UV radyasyonu denir. Güneş ışığı Dünya atmosferine girdiğinde, ışık yaklaşık %50 kızılötesi radyasyon, %40 görünür ışık ve %10 ultraviyole radyasyondur. Bununla birlikte, atmosfer güneş UV ışığının yaklaşık %77'sini, çoğunlukla daha kısa dalga boylarında engeller. Bu nedenle, Dünya yüzeyine ulaşan ışık, yaklaşık %53 kızılötesi, %44 görünür ışık ve %3 UV'dir.

Ultraviyole ışıklar, cıva buharı lambaları ve bronzlaşma lambaları tarafından da üretilebilir. Yeterince sıcak herhangi bir vücut ultraviyole ışık yayar (siyah vücut radyasyonu). Böylece, Güneş'ten daha sıcak yıldızlar, daha fazla UV ışığı yayarlar.

UV tayfı, sistematik olarak ışığın dalga boyunu, ışığın özelliklerini ve etkilerini tanımlar. Işınımın doğal kaynağı

<sup>1</sup> Makina Mühendisi - [serdar.uzgur@uzgur.com](mailto:serdar.uzgur@uzgur.com)

**Tablo 1.** Kategorik Ultraviyole Işınım Dalga Boyu [2]

Ad	Kısaltma	Dalga Boyu (nm)	Foton Enerjisi (eV)	Diğer Adlar
Ultraviyole A	UVA	315-400	3,10–3,94	Uzun dalga, siyah ışık (ozon tarafından emilmez)
Ultraviyole B	UVB	280-315	3,94–4,43	Orta dalga (çoğunlukla ozon tarafından emilir)
Ultraviyole C	UVC	100-280	4,43–12,4	Kısa dalga (tamamen ozon tarafından emilir)
Yakın Ultraviyole	NUV	300-400	3,10–4,13	Balıklar, böcekler, kuşlar, bazı memeliler tarafından görülebilir
Orta Ultraviyole	MUV	200-300	4,13–6,20	
Uzak Ultraviyole	FUV	122-200	6,20–12,4	
Hidrojen Lyman-Alfa	H Lyman- $\alpha$	121-122	10,16–10,25	121,6 nm'de spektral hidrojen hattı; daha kısa dalga boylarında iyonlaşma oluşur
Vakum Ultraviyole	VUV	10-200	6,20–124	Oksijen tarafından emilir, ancak 150-200 nm azot yoluyla seyahat edebilir
Aşırı Yüksek Ultraviyole	EUV	10-121	10,25–124	Aslında iyonlaştırıcı radyasyondur, atmosfer tarafından emilmiş olmasına rağmen

dışında üretilmesi, endüstrideki kullanım amaç ve gerekçelerine bağlı olarak söz konusu oluyor.

Tipik UV ışınımı için lamba kullanımı; su dezenfeksiyonu, endüstride kütleme ve kurutma, tıp- laboratuvar için sterilizasyon ve ticari amaçlı klima sektörü ile evsel dezenfeksiyon alanlarında kendine yer bulmuştur.

- 13,5 nm: Aşırı ultraviyole litografi<sup>2</sup>
- 30–200 nm: Foto iyonizasyon, ultraviyole foto elektron spektroskopisi
- 230–365 nm: UV-ID, etiket izleme, barkod tarayıcılar
- 200–400 nm: Adli analiz, uyuşturucu tespiti
- 230–400 nm: Optik sensörler, çeşitli enstrümantasyon
- 240–280 nm: Dezenfeksiyon, yüzeylerin ve suyun dezenfekte edilmesi için (DNA emilimi 260 nm'de tepe noktasına sahiptir)
- 270–360 nm: Protein analizi, DNA dizilimi, ilaç keşfi
- 280–400 nm: Hücrelerin tıbbi görüntülemesi
- 300–320 nm: Tıpta ışık terapisi
- 300–365 nm: Polimerlerin ve yazıcı mürekkeplerinin kürlenmesi için
- 300–400 nm: Katı hal aydınlatması

- 350–370 nm: Böcek öldürücüler (sinekler en çok 365 nm'de ışığa çekilir)

UV-A genelde malzeme kütleme ve matbaacılı ile tekstil sektörlerinde mürekkep kurutma için kullanılmaktadır.

UV-C kullanımı, genel olarak sterilizasyon ve dezenfeksiyon amaçlı çok değişik nitelikli ürün sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Sterilizasyon-dezenfeksiyon amaçlı UV-C lambaların tipleri ve özellikleri aşağıda tanımlanmıştır.

**Düşük Basıncılı Cıva Mikrop Öldürücü Lambalar:** Düşük basınçlı cıva mikrop öldürücü lambalar, UV mikrop öldürücü lambaların en yaygın türleridir ve çok çeşitli lamba tipleri içerir. Düşük basınçlı cıva mikrop öldürücü lambalar, çok çeşitli endüstrilerde etkili sterilizasyon sağlar. Düşük basınçlı cıva lambalarının ozon üreten veya ozon içermeyen tipleri bulunur ve bunlar şunları içerir:

**Standart Çıkışlı Kuvars:** Lambanın elektrik gücünün %40'ını 254 nm'de UVC radyasyona dönüştürerek en yüksek verimliliği sağlar. Düşük ozon tipi kuvars cam, 254 nm'de %90 iletim sağlar ve 185 nm enerjisi bloke eder. Çok Yüksek Çıkışlı (VH) lambaların ozon üretimi, standart çıkışlı lambaların Kuvars olmayanlarının ozon üretimi, hem UVC ozon üreten lambalar için 185 nm de, hem de 254 nm dalga boylarında ışınım iletir. Kaynaşmış kuvars

<sup>1</sup> Litografi-EUV veya EUVL olarak da bilinen bilgisayar yongaları üretiminde baskı almak için kullanılır.

türü lamba kullanımı dalga boyu emisyonlarını düşük ozon salınımı ile belirleyici olur.

**Yüksek Çıkışlı Kuvars:** UVC çıkışının yaklaşık iki katını yani, aynı uzunlukta standart çıkış lambalarına kıyasla %66'ya kadar daha fazla UV çıkışı sağlar. HO lambalar, işlevsellikten ödün vermeden gerekli lamba sayısını azaltmaya izin verir. HO lambaların kullanımı, daha küçük karbon ayak izi gerektiğinde avantajlıdır.

**Kompakt Kuvars ve Yumuşakcam:** Kuvars cam 254nm ve 185nm teknolojisi için, Yumuşakcam sadece 254 nm için kullanılabilir. Kompakt lambalar küçük alanlarda mikrop öldürücü çözümler sağlar. Standart ve Yüksek Çıkışlı Yumuşakcam: Yumuşakcam lambalar, Kuvars cam ile olanlardan çok daha çeşitli şekil ve boyutlarda mevcuttur. Yumuşakcam lambalar %30 mikrop öldürücü verimliliğe sahiptir ve 180 ila 425 mA arasında daha düşük akımda çalışabilir.

**Düşük Basıncı Amalgam Lambalar:** Hem standart hem de özel tasarımlarla sektördeki en geniş yüksek kaliteli spot ve pelet amalgam lamba yelpazesi oluşturulmuştur. Genellikle yüksek yoğunluklu lambalarda meydana gelen çıkış amortisman oranını azaltarak ve UV mikrop öldürücü lambalarının ömrünü önemli ölçüde artırarak 16.000 saate yükseltir.

Amalgam mikrop öldürücü teknolojisi birçok avantaj ve özellik sunar:

- Aynı uzunlukta standart lambalarla karşılaştırıldığında UVC çıkışının üç katına kadar verim verir.
- Hem yatay hem de dikey çalışmada eşit işlevsellik ve verimliliği sağlar.
- Geniş bir su veya hava sıcaklığı aralığında (4 – 40 °C) tutarlı UVC çıkışı ile çalışabilirler. Özel tasarımları ile daha da yüksek sıcaklık uygulamalarına izin verilebilir.
- Standart veya HO mikrop öldürücü lambalarla karşılaştırıldığında, amalgam lambalar sistemin çalışma ömrü boyunca daha düşük satın alma ve bakım maliyetleri sunar.
- Sistem tasarımcıları, işlevsellikten ödün vermeden gereken lamba sayısını azaltabilir.

**Orta Basıncı Ultraviyole Lambalar (MPUV):** Orta basınçlı ultraviyole lambalar (MPUV), düşük basınçlı ultravi-

yole lambalardan daha fazla UVC enerjisi yayarken, daha yüksek güç seviyelerinde ve sıcaklıklarda çalışır. MPUV lambalar, kütleme ve mikrop öldürücü uygulamalar da dahil olmak üzere çok çeşitli endüstrilere çözüm sağlar. MPUV lambalar aşağıdakileri yapmak için etkili ve verimli sterilizasyon sağlar:

- Atık su arıtma tesisleri ve balast suyu arıtma sistemleri dahil olmak üzere su dezenfeksiyon uygulamaları (kompakt karbon ayak izi ile daha yüksek akış hızları sağlanır),
- Hava arıtma sistemleri, HVAC UVC sistemleri,
- Yüzey sterilizasyonu, UVC robotları.

Orta basınçlı MPUV lambalar, inç başına 100 watt'tan başlayarak, inç başına 700 watt'tan fazla standart ve özel lamba serileri olarak kullanılabilirler.

**UVC Ozon Lambaları:** 185 nm'de kesintisiz emisyon için net kaynaşmış kuvars olarak imal edilmiş Çok Yüksek (VH) lamba tasarımında UVC ozon lambalarıdır. HVAC hava sterilizasyon sistemlerinde kullanılan ozon lambaları; kötü kokuları, sülfidler ve amonyak gibi uçucu organik bileşikleri ortadan kaldırır. Ozon, koku çözücü etki ile temiz hava kalitesini korumak amacıyla, doğrudan UV radyasyonuna ulaşamayan yerlere de taşınabilir.

**Işık yayan diyot lambası (LED):** LED lamba, tek renk filtresine ihtiyaç duymadan tek bir dalga boyunda ışık üretir. LED ömrü neredeyse sonsuz olduğundan ve bant genişliğinde çok az değişiklikle ışık spektrumu kararlı olduğundan, LED'ler, basit uygulamalar için çekici olan, düşük maliyetli çözümdür.

Kimyasal İçermeyen Su ve Atık Su Arıtımı için Ultraviyole Dezenfeksiyon (UV) Lambaları Çeşitleri [3]:

UV ve ozon dezenfeksiyonu hem temel hem de uygulamalı araştırmaların odak noktası olmuştur ve bu da, bu sistemlerin verimliliğinde önemli gelişmelere neden olmuştur. Ayrıca uzun süredir yiyecek ve içecek üretiminde kullanılan yaklaşımlar, atık su dezenfeksiyon sistemlerine giderek daha fazla aktarılmıştır.

Su ve atık su arıtma sistemleri söz konusu olduğunda, işletmesel ve verimsel değişimleri, farklı bileşenlerden oluşacaktır. Bu fark, kullanılan tedavi süreçlerinin farklılıklarından, kimyasalların kullanılıp kullanılmadığı veya arıtma süreçlerinin ne kadar güç gerektirdiğinden kay-

naklanabilir. Bir sistem için kimyasalların kullanılmadığı durumunda, Ultraviyole (UV) lambaları bu sistemlerin en önemli bileşenleridir.

Lamba sistemi, arıtılacak suyun patojenik içeriğini yok etmek için uygun UV ışık seviyelerini üreten kaynaktır. Genel olarak, ultraviyole (UV) lambalar, cıva buharını etkileyen bir elektrik arki sağlayan bir tür metalik filamentten oluşur. Buharı enerjilendirip ışınlamaya ortam haline getirmek, tüpün içindeki basıncın ısı ile artmasına ve UV radyasyonuna neden olacaktır. Dezenfeksiyon için, UVC'nin düşük dalga boyu tipi istenir, ancak bu kısa dalga boyunda, ışık tipik camdan geçemez, bu nedenle kuvarstan yapılmış bir tüp, lambanın ana gövdesini oluşturur.

**UV Lamba Teknolojilerindeki Gelişmeler:** UV lamba teknolojisindeki gelişmeler, UV dezenfeksiyonunun hem satın alma hem de işletme maliyetini düşürmüştür. UV lambalar, elektrotlar arasındaki cıva buharı yoluyla elektrik akımı akışı sonucu ışık üretir. Atık su uygulamalarında kullanılan lambalar genellikle üç gruba ayrılır: düşük basınçlı düşük çıkışlı (LPLO), düşük basınçlı yüksek çıkışlı (LPHO) ve orta basınç (MP).

Her lamba tipi farklı dalga boylarında radyasyon çıkışı sağlar, farklı çalışma parametreleri kullanır ve farklı avantajlar ve dezavantajlar sunar. Tablo 2, geleneksel lamba teknolojilerinin bazı önemli özelliklerinin bir özetini sunar. Özetle, düşük basınçlı lambaların ana dezavantajı, çok sayıda lambaya ve buna bağlı olarak büyük ayak izine duyulan ihtiyaçtır; ancak, LPHO lambalarının gelişimi bu sorunu bir dereceye kadar azaltır. Sonuç olarak, LPHO atık

su dezenfeksiyon uygulamaları için tercih edilen lamba teknolojisi haline gelmiştir.

Endüstriyel, ticari ve belediye su arıtma sistemlerinin çoğunda, tesislerdeki arıtılacak suyun akış hızlarını saptamak için iki özel lamba tipi öne çıkmaktadır.

**Düşük Basınçlı / Yüksek Enerji Verimli Lambalar:** Bu lambalar hem iyi bir mikrop öldürücüdür hem de elektriksel verimliliğe sahiptir. Düşük basınç daha düşük güç kullanımını garanti ederken, yüksek enerji çıktısı gelişmiş mikrop öldürücü verimliliğini garanti eder. Bu lambalar, daha az güç kullanmak isteyen ve biraz daha fazla alana sahip tesislerde nispeten yüksek akışlar için iyidir.

- Tek renkli spektrum
- Orta menzilli giriş gücü
- İyi enerji verimliliği
- Orta menzilli çalışma sıcaklığı
- İyi lamba ömrü
- Orta karbon ayak izi (lamba sayısı ile ilgili)

**Orta Basınç / Yüksek Çıkış Lambaları:** Bunlar daha basit bir şekilde orta basınçlı (MP) lambalar olarak adlandırılır, çünkü enerji çıktı yoğunluğunda çalıştırılmazlar. Bunlar, küçük alan gereksinimleri olan tesislerde daha yüksek akış hızlarında en verimli olan ve daha yüksek güç tüketimini karşılayabilen en güçlü UV lambalarıdır. MP sistemleri LPHO sistemlerinden çok daha fazla enerji yoğun olmasına rağmen, daha az lamba gerektiğinden, daha düşük kurulum maliyeti, genellikle yüksek atık su akışlarına sahip tesisler, yağmur suyu taşmaları veya alan sınırlı sahalarda bu teknolojinin kullanımını sağlar.

- Polikromatik spektrum<sup>3</sup>
- Yüksek enerji tüketimi ve giriş gücü
- Daha düşük enerji verimliliği
- Yüksek çalışma sıcaklığı
- Daha kısa lamba ömrü
- Küçük karbon ayak izi (lamba sayısı için)

**Tablo 2.** Geleneksel UV Lamba Teknolojilerinin Özellikleri (EPA, 2006'dan sonra yenilendi)

Lamba Karakteristiği	LPLO	LPHO	MP
Tayf	Monokromatik	Monokromatik	Polikromatik
Giriş Gücü (Watt/lamba)	70 – 90	200- 400	1.300 – 5000
Mikrop Öldürücü UV (girişin %)	35 – 40	30- 42	15 – 20
Çalışma Sıcaklığı (°C)	40- 60	100- 200	600 – 900
Lamba Ömrü (saat)	8.000- 15.000	8.000- 12.000	5.000- 8.000
Lamba Sayısı (MP'ye göre)	10- 15	4- 8	1
Enerji Ayak İzi	Büyük	Orta	Küçük

<sup>3</sup> Polikromatik spektrum: Darbeli ("pulsed") UV lambalarının yaydığı ışık tayfı

**Düşük Basıncılı / Düşük Enerji Verimli Lambalar:** LPLO dezenfeksiyon sistemleri yaygın olarak kullanılmaz, çünkü büyük akış hızlarında LPHO veya MP sistemleri kadar etkili değildir ve önemli ölçüde daha fazla UV lambası gerektirir. Bununla birlikte, üç sistemin en enerji verimli olanıdır ve çok daha küçük uygulamalar için uygun maliyetli olacaktır.

- Tek renkli spektrum
- Düşük menzilli giriş gücü
- İyi enerji verimliliği
- Düşük menzilli çalışma sıcaklığı
- İyi lamba ömrü
- Büyük ayak izi (lamba sayısı için)

Bir dezenfeksiyon sisteminde belirli bir lambanın kullanılması, uygulamaya bağlı olarak az çok avantajlı olabilir. Tipik olarak emniyetli karar verme süreci, MP'den daha fazla enerji verimliliği ve lamba ömrüne sahip ve LPLO'dan daha az lambaya sahip patojenleri öldürmede daha etkili olan her iki farklı teknolojiye de en iyilerinden biri olan LPHO ile gitmek olacaktır.

**UV Dezenfeksiyon ve UV LED'leri:** Işık üretmek için cıva buharı haznesi boyunca elektrik arkı kullanan geleneksel UV dezenfeksiyon lambalarının aksine, ışık yayan diyotlar (LED'ler), foton şeklinde enerji yayan katı hal yarı iletken cihazında bir voltaj üreterek ışık üretir. 375-395 nm civarındaki dalga boylarındaki UV'ye yakın ışın yayıcılar zaten ucuzdur ve belgelerdeki ve kâğıt para birimindeki sahteciliği önleme UV filigranlarının incelenmesi için kullanılan siyah ışık lambaları gibi sıklıkla karşılaşılanlardır. Alüminyum içeren nitrür yarı iletkenler ile, çoğu zaman, mikrop öldürücü aralıktaki dalga boyları (250-270 nm) elde edilebilir. UVC LED teknoloji cihazı piyasaya sürülmüştür. Cihaz, sadece 50 mW optik güç ile dakikada 0,5 galonluk bir akışta 60 mJ/cm<sup>2</sup> UV dozu üretebilir. Dezenfeksiyon, MS2 virüsü kullanılarak iki bağımsız laboratuvar tarafından doğrulanmıştır. UV LED teknolojisinin avantajları arasında, devreye alınma sırasında, cıva içermeyen lambalarda anında tam yoğunluk ve lamba bozulması olmadan sınırsız kullanım sağlanması bulunur. Sistem su sıcaklığından etkilenmez ve lamba sıcaklığını yönetmek

için akış gerektiren geleneksel cıva ark lambalarının aksine, akış olmasa bile operasyon yapmaya devam edebilir. Buna ek olarak, LED teknolojisini kullanan UV lambaları, düşük işletmesel güç maliyeti nedeniyle mikrop öldürücü etkinliği hakkında veri yayımlandıkça, yakın gelecekte gözden geçirilecek bir yöntem olacaktır.

MP sistemleri LPHO sistemlerinden çok daha fazla enerji yoğun olmasına rağmen, daha az lamba gerektirdiğinden, daha düşük kurulum maliyeti, genellikle yüksek atık su akışlarına sahip tesisler, yağmur suyu taşmaları veya alan sınırlı sahalarda bu teknolojinin kullanımını sağlar.

**Mikrodalga UV Lambaları:** Kullanılan lamba türlerinden bağımsız olarak, yedek lambaların maliyeti, UV dezenfeksiyon sistemlerinin yaşam döngüsü maliyetinin önemli bir kısmıdır. Sonuç olarak, bir UV ekipmanı üreticisi, gaz dolu lambaları ışınlamak için bir "magnetron"<sup>4</sup> tarafından üretilen mikrodalga enerjisi ile aktif hale gelen elektrotuz cıva-argon UV lambası geliştirmiştir. Bu radyasyon gazı UV ışığı üretir. Bu teknoloji elektrot kullanmadığı için, lamba ömrü, üretici tarafından talep edilen beş yıllık lamba ömrü ile geleneksel elektrot cıva ark lambalarının (yaklaşık 12.000- 15.000) beklenen lamba ömrünün çok ötesine uzatılabilir.

Yukarıda Güneş'ten gelen UV ışınları dışında, lambalar vasıtası ile üretilen ışınlardan etkilenme süreleri ve izin verilen zamana bağlı zarar görmeden ışınım sınırları aşağıdaki Tablo 3 ve Tablo 4'te belirtilmiştir [4].

1. Sadece alüminyum şerit (inorganik) A Derece'dir.
2. Parantez içerisindeki numaralar UV nedenli bozulma oranıdır. Düşük numaralar yüksek UV dayanımını ifade eder

#### UV-C Işınlama Temas Sınırları:

1972'de Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC) ve Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü (NIOSH), UV radyasyonuna mesleki maruziyet için önerilen bir maruz kalma sınırı (REL) yayınladı. REL, çalışanları UV ışını ile temasta oluşacak akut etkilerden korumak için tasarlanmıştır, Tablo 4, farklı UV-C ışınlama seviyeleri için izin verilen bazı maruz kalma sürelerini listeler. Bazı iç mekân bitkileri uzun süreli UV-C temasını tolere edemez ve oda tavanına

<sup>4</sup> Magnetron: Dış manyetik alan ile elektron içeren cam tüp içerisinde mikrodalga üreten veya gücünü arttıran ekipman

**Tablo 3.** UV-C Dayanımlı Test Edilmiş Malzemeler Özeti [5]

<b>Polimerler</b>		
Derece B	Derece C	Derece D
Polivinil Normal (4)	Polyimit (30)	Akrilik (80)
Naylon Siyah (10)	LDPE (30)	PET (90)
Doğal Naylon (10)	ABS (30)	PBT (90)
Perforoetilen (20)	Epoksi Döküm (40) Polivinil Klorit (40) Polikarbonat (60) Fenolik Reçine	Polipropilen (200) HDPE (400) Poliasetal (700)
<b>Elastomer/Contalar</b>		
Derece B	Derece C	Derece D
Bakır/Petrol RTV Lateks Kauçuk Buna-N O-ring EPDM O-ring Silikon O-ring		Asetik Asit RTV
<b>Filtre Malzemesi ve Karkas Malzemesi</b>		
Derece B	Derece C	Derece D
Düşük-Tüysüz Tiftik (10) <sup>b</sup>	Yazıcı Kâğıdı (100) <sup>b</sup>	Polyester (400) <sup>a</sup>
Sıcak-Erimiş Yapıştırıcı (70) <sup>b</sup>	Poliüretan Şeritler (100) <sup>b</sup> Endüstriyel HEPA (100-200) <sup>b</sup> HEPA Kullanıcı (200) <sup>b</sup> Elektret <sup>5</sup> (300) <sup>b</sup>	Karton (1000) <sup>b</sup> Çatı Arası Cam Elyafı (7000) <sup>b</sup>
<b>Çeşitli Malzemeler</b>		
Derece B	Derece C	Derece D
Elastomerik İzolatör (30)	Poliüretan Kapı Contası (20)	Cam Elyaf İzolasyonu <sup>a</sup> (90)
Elastomerik V-Kayış (70)	Mastik Kanal Contası (400)	Neopren Kapı Contası <sup>a</sup> (100) Köpük Boru İzolasyonu <sup>a</sup> (300) Polistren Köpük <sup>b</sup> (400)
Notlar:	<sup>a</sup> Yapısal Zarar: Fiber kaybolur, vs..	<sup>b</sup> Deformasyon 10000 µW/cm <sup>2</sup> test

asılmamalıdır. 253,7 nm'de CDC/NIOSH REL, günlük 8 saat vardiya için 6 mJcm<sup>-2</sup> (6000 µJcm<sup>-2</sup>) şeklindedir. ACGIH<sup>6</sup>'in (2015) [6] İzin verilen maruz kalma süreleri (PET) aşağıdaki denklem kullanılarak çeşitli ışınlama düzeyleri için hesaplanabilir:

$$\text{İzin Verilen Işınım Süresi} = \frac{\text{Tavsiye Edilen 254 nm Işınımında Kalma Süresi 6000 } \mu\text{J/cm}^2}{\text{Ölçülen 254 nm Işınım Seviyesi } \mu\text{W/cm}^2} \quad (1)$$

Yukarıda Tablo 3 ve Tablo 4 de belirtilen malzeme dayanım süreleri ile insanlar için zaman ve doz sınır miktarlarını incelediğimizde, ortam sterilizasyonu için özel hacim-

lerde, hastahane odası, laboratuvar veya ameliyathaneler dışında UV-C ışınımı ile temas konusunu mühendislik ve temel ilkeler doğrultusunda sınırlı göz teması ile kapalı bölgelerde kullanmakta fayda olduğu çok net görülmektedir.

Su dezenfeksiyonu uygulamalarında çok sınırlı bir göz teması söz konusu olacağından, su dezenfeksiyonu daha çok, organik canlılar ve patolojik dezenfeksiyonu ve zararlıların etkisizleştirilmesi amacını taşır.

Hava ve klima uygulamalarında ise sadece bu iki para-

<sup>5</sup> Elektret- Tamamen polarize edilmiş dielektrik madde parçası

**Tablo 4.** İzin Verilen Etkili Işınım Temas Süresi ve Seviyesi (UV-C Enerji 253,7 nm)

İzin Verilen Işınım Zamanı*	Etkili UV-C Işınım Dozu W/cm <sup>2</sup>	İzin Verilen Işınım Zamanı*	Etkili UV-C Işınım Dozu W/cm <sup>2</sup>	İzin Verilen Işınım Zamanı*	Etkili UV-C Işınım Dozu W/cm <sup>2</sup>
24 saat	0,07	2 saat	0,8	1 dak.	100
18 saat	0,09	1 saat	1,7	30 saniye	200
12 saat	0,14	30 dak.	3,3	15 saniye	400
10 saat	0,17	15 dak.	6,7	5 saniye	1200
8 saat	0,2	10 dak.	10	1 saniye	6000
4 saat	0,4	5 dak.	20		

metre, sorunun çözümü için yeterli değildir; bitki, evcil hayvanlar ve insanlar ile UV-C dayanımı düşük malzemelerden üretilen eşyaları da korumak gerekmektedir.

### 3. KLİMA SANTRALLARI VE DÖNÜŞ KANALLARINDA UV-C LAMBALARININ KULLANILMA KURALLARI

Hava dönüş/egzoz kanallarında, her türlü dezenfeksiyon ve sterilizasyon kontrolü için insanın sınırlı zaman geçirdiği mekanik odalarda, bakım ve onarım işlemlerinin kolay olduğu hacimlerde, UV-C lamba üniteleri yerleştirilmelidir.

**Dönüş Kanal Uygulamaları ve Klima -Havalandırma Santral Uygulamaları:** Pandemi dönemi dışındaki dönemlerde, insanların doğal bağışıklık sistemlerinin kırılmaması için, yukarıda belirtilen dozda ışınım yapılmaması gerekir. Işınım şiddetinin yüzey için sadece parametre [2730]  $\mu\text{W.sn/cm}^2$  değeri bazı lambaların ya ışınım şiddeti düşürülerek (dim edilerek) veya bazı lambaların söndürülmesi ile AHU içi yüzey ve kanal dezenfeksiyonu sağlanmalıdır. Pandemi olmayan süreçlerde UVC sistemi ayda 24 saat kesintisiz Ultraviyole ekipmanları çalıştırılmalıdır. Kanal içi hava ve yüzey dezenfeksiyonu için karakteristik değerler, Pandemi tasarım değerlerindeki 24 saatlik dezenfeksiyon değerlerini sağlamalıdır.

a. Test sonuçları bağımsız bir laboratuvar tarafından yapılmalı ve aynı zamanda gerçek hidrolik basınç kaybı hesabı ölçümlenmelidir.

- b. Lamba belgelerinde kullanılan balast performansının bir seneden daha kısa olmadığı belirlenmelidir.
- c. Etkili olma süresi ve dağılımı (RTD) verileri, konsantrasyon- zaman eksenlerinde çizelgede görülmelidir. Eğer sunulan veriler şüpheli ise, İdare kendisi ayrı bir test yaptırabilir.

**Performans Gereklilikleri:** Tipik nominal ortalama ışınım, UVC yoğunluğu ve teorik yok etme süresi Sars-Covid-2 virüsünü tek aşamada etkisiz hale getirmek içinse, tasarım için kullanılacak parametre 2730  $\mu\text{W.sn/cm}^2$  UVC ışın dozu değeridir. 1 saniye süresince bu ışınım değerine maruz kalan havadaki virüslerde D99 (%99,9) değerinde bozulma oluşur. Nominal ortalama ışınım yoğunluğu üreticilere göre değişiklik göstereceği için, lamba miktarı ve toplam yüzey ve gerekli yerleşim şekli için hesap yapılmalı ve raporlanmalıdır.

**Etkisizleştirme:** Öncelikle Sars-Covid-2 virüsünü tek aşamada etkisiz hale getirmek için, tasarım için kullanılacak parametre 2730  $\mu\text{W.sn/cm}^2$  olup, çalışma süresi 24 saat esas kabulü ile başlanmalı ve en az AHU<sup>7</sup> çalışma saatleri süresince kesintisiz çalışmalıdır.

Konvansiyonel UVC ünitelerde dozaj miktarı [tasarım dozu]  $\mu\text{Watt.sn./cm}^2$ , filtrelenmiş hava için dezenfeksiyon emniyet katsayısı 2,0 olmalıdır. İmalatçı tavsiyesine göre, bu değerler gerçek değerle değiştirilmesi gerekebilir.

UVC dozaj değeri (tasarım dozu)<sup>8</sup>  $\mu\text{Watt-saniye/cm}^2$  de-

<sup>7</sup> AHU- ("Air Handling Unit") klima havalandırma santrali

<sup>8</sup> UVC sistemi tasarım sürecinde, uzman tarafından kabul edilen ışınım doz değeri.

ğerinden tam en yüksek hava debi geçişi için ve lamba ışınım değeri bir yıl (8750 saat) lamba kirlenme hesabı ve sistem tasarım kabulünde belirtilen en az ilk UVC ışınım değerinin %80'in altına düşmemelidir. Yüzey temizliği için minimum UVC enerjisi, 1 metre mesafedeki 1 inç boyutundaki lamba başına  $10 \mu W/cm^2$ 'den daha az olmalıdır. İki yıllık süre zarfında %20'den fazla ışınım kaybına (ilk çıktısının %80'i) izin verilmez.

**UVC Yoğunluğu:** UVGI Sistemi (UVC) lambaları, drenaj tavası ve biyolojik kirlenmeye eğilimli diğer yüzeylerde ve batarya üzerinde, UVC enerjisinin eşit dağılımını sağlayacak, yeterli miktarda olmalıdır. Enerji verimliliğini korumak için üretilen UVC enerjisi, mümkün olan en düşük yansıma ve gölgelenme kayıplarına sahip olmalıdır. Düzgün sistem boyutlandırma ve yapılandırması için, UVC üreticisi seçim ve yapılandırma yazılımı çıktıları temin etmelidir. Bu UVGI sistem yapılandırma yazılımı, uygun yapılandırma için lambaların sayısını, hesaplanan UVC yoğunluklarını ve lambaların yerleştirilmesini hesaplamalıdır. UVC lamba sistemleri, günde 24 saat sürekli çalışmaya uygun olmalıdır. Sistem kurulum senaryosu, 24 saat çalışma üzerine kurulmalıdır. Lamba kurulumu yapılan havalandırma cihazları içinde kullanılan malzemelere UVC ışığının etkilerini görmek için, Tablo 3 esas alınmalıdır [4]. Özellikle plastik esaslı, HDPE, Poliüretan kapı contaları, Polipropilen ve akrilik malzemeler için önlem alınmalıdır. Bu tür malzemeler UVC ışığına maruz kaldığında bozulmaya uğrarlar. UVC ışın yoğunluğu  $10 \mu W/cm^2$  altında olamaz.

**Etkili Olma Süresi:** Gerçek etkili olma süresi (t), teorik etkili olma süresinin (T) x 0,9 katından daha küçük olamaz ve (T) en yüksek hava akış debisi için bir saniye den küçük olamaz.

**Merkezi Hava Kütle Akışı Düzenliliği:** Gerek santral gerek ise kanal içinde konulan üniteler için hava akımı, parabolik orta debi en yüksek hava kütlesini taşır. Keskin dönüşler veya benzer nitelikte akış merkezini çeşitli yüzeylere kaydıracak veya türbülans akışa sebep olacak hava hızları ve yeterli düz mesafe olmayan kanal veya hava toplama kutuları içerisinde uygulama yapılırken, işlem dikkatle kontrol edilmeli, mesafe kurallarına uyarak uygulama yapılmalıdır.

**Basınç kaybı:** Yatay lamba modüllerinin yerleşimi sırasında lamba ve kılıfının genişliği en fazla 40 mm olması durumunda, yaratacakları basınç kaybı en yüksek debi ve

lamba modülünün montajlı olmaması durumuna göre basınç kayıp hesabına katılmaz. Aynı şekilde, dikey montaj lamba modülleri için 15 Pa değerini geçemez. Lamba modülünün karkası dahil toplam alanı, kesit alanının %35 değerini geçmemeli ve montaj yerindeki her lamba grubu için minimum en-boy oranı değeri (kanal uzun kenar / hidrolik yarıçap) 15 olmalıdır.

**MALZEMELER:** Tüm ünite elemanlarında UVC lambası ışınımına dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Lambaların reflektörleri kullanılarak ışınım miktarını arttırmak gerekiyor ise, her bir lamba için çıkartılabilir ayarlı alüminyum parabolik reflektörler UVC 254 nm enerjisinin en az %65'ten az olmamak üzere yansıtma sağlayacak nitelikte olmalıdır.

Bahsedilen alüminyum parabolik reflektörler, aerodinamik olarak 10,2 m/sn. hıza kadar dayanıklı olmalı, ısık çalınmamalı ve titreşim yapmamalıdır.

**Etiketler:** Üretici tarafından temel ekipmanların tamamı için imalatçı ismi, adresi, ürün tipi, model numarası ve katalog numarası bulunan etiketler tüm ekipmanlar üzerinde uygun nitelikteki plaka üzerinde bulunmalıdır (etiket düşmemeli, silinmemeli, bozulmamalı, vb.).

**EKİPMAN:** Her bir sistem için, doğruluğu kanıtlanmış bilgisayar destekli yazılım program ile yapılmış tasarım hesabı, gereken lamba miktarı, kirleticiler üzerindeki ışınım miktarı, ışınım maruz kalınan süre ve ortalama ışınım yoğunluğu haritası ile montajın yapıldığı yerde oluşan basınç kayıpları ve teorik UVC doz miktarını gösteren çıktılarla desteklenmiş marka, model, kesit alanı ve montaj listesi sunulmalıdır.

Eğer tasarım içerisinde yukarıda belirtilen kriterlerden sapma veya farklılık var ise, emniyetli tarafta olunacak nitelikte hesapların tamamlanması ve malzeme listesinin oluşturulması gerekir.

**Yerleşim Çizimi:** Üretici tarafından fiziki imalat ve montaj resimleri ve yerleşim planı sunulmalıdır. Ayrıca parça listelerinin gözüktüğü montaj resimleri, noktadan noktaya elektrik kablo listesi, ölçü ve model imalat malzemeleri ve montaj talimatları da sunulmalıdır.

### Ekipman Konstrüksiyonu

**UVC Lamba Modülü:** Lamba bağlantıları su geçirmez tip olmalı veya su damlacık gelme seviyesi üzerinde monte



edilmelidir. Güvenlik tedbiri olarak enerji kesici anahtar lambaların bulunduğu bölgeye ulaşım kapağı açıldığında otomatik enerji kesilmesini sağlayacak sistem kurulmalıdır. Eğer lamba bağlantısı içine su sızarsa, elektrik devresini kesmek için mutlaka Topraklama Arıza Devre Kesicisi kullanılmalıdır. Tüm lambalar, montaj modülünü söküp takmadan kolayca sökülüp takılabilecek şekilde olmalıdır.

#### UVC Lambalar:

- Yüksek ışınımlı UVC lambaları, düşük basınçlı ve her iki ucunda bir alıcı içeren ve solarizasyonu azaltmak için iç tarafı kaplanmış düşük cıva yüklü argon-neon tipi olmalıdır.
- UVC lambaları, ozon üretimini önlemek için 185 nm dalga uzunluğunda %99,99 filtreleme sağlamaya yönelik titanyum oksit katkılı saf kuvars 219 tip cam olmalıdır.
- UVC lamba (Tam yandıktan sonra) serpentine düşen net ışınım miktarı 1 metre mesafede her bir inç için 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  net 245 nm ile 266 nm bandında ve normal hava şartları için sıcaklık ile 2,032 m/sn. hava hızında karşılamalıdır.
- UVC lamba tasarımı, 4-pin bağlantılı T-5 çapında (15 mm) sıcak katot tip olmalıdır.
- UVC lamba uzunlukları 18, 24, 32, 46 ve 60 inç olarak ihtiyaca göre kullanılmalıdır.

**UVC Lamba Kılıfı:** Teflon kılıf gerekli olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu kılıf, ışınımın en az %98 veya üzerinde kısmını geçirmeli ve et kalınlığı da 0,8 mm-2,09 mm arasında olmalıdır. Kılıf kullanılıyorsa bir ucu kapalı ve diğer ucunda O-ring ile sızdırmazlığı sağlamalıdır. Kılıf hiçbir şekilde metal yüzeyler ile temas etmemelidir.

**UVC Lamba Modülü Destek Rafı:** Lambanın monte edildiği taşıyıcı sistem, montaj yapılan yere ve etrafındaki malzemelere uygun olarak, paslanmaz çelik, alüminyum veya galvanizli profil olarak kontrolsüz UVC lamba ışınımı yansımaları yapmayacak şekilde seçilmelidir.

**Lamba Sıralama Konfigürasyonu:** Yatay lamba montajı tüm yüzey alanı, yukarıda tasarım için verilen değerler esas alınarak birbirlerine paralel sıra lambalardan oluşur. Her bir sırası yatay ve dikey olarak orta çizginin merkezine yerleştirilerek tüm yüzeye eşit mesafede olması sağlanır. Burada önemli olan, düzgün ve simetrik ışınım sağlamaktır. Hesap içerisinde, emniyetli tarafta yerleştirilmesi esastır.

Dikey lamba yerleştirme sisteminde ise, akışa dik ve yüze dik olarak tüm lambalar birbirine paralel olarak yerleştirilir. Yerleştirme sıraları boyuna olarak lamba maksimum öldürücü doz etki dairesel alanının 1,5 katı lambaların ek senel merkez orta çizgiden sapılarak yerleştirilir. Üst üste binen lamba ışınimleri İntensite böylece artırır.

#### ELEKTRİK İŞLERİ

- UVC sistemleri, birbirine paralel çalışan bir veya birden fazla grup olarak maksimum hava debisini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Pandemi dönemi harici dönemlerde ışınım kapasitesini azaltılabilecek şekilde lamba sıralaması ve devresi ayrılmalıdır.
- Merkezi kontrol panosunda, her bir alt sistem için topraklama arıza sinyali ve kablo devre kopukluk arıza sinyali bulunmalıdır.
- Her bir güç paneli, her bir modül için ön kablo montaj ve ekipmanlarına sahip olmalı, sadece yerinde kesintisiz kablo bağlantısı yapılmalıdır.
- Elektrik güç sistemi, 110-277 volt AC, 50-60 Hz. ve iç ve dış saha ortamında sıcaklık 8°C ile 86°C arasında %100 nem şartlarında olmalıdır.
- Topraklama hata sistemi mutlaka UVC ekipman imalatçı standartlarında olmalıdır.
- Kontrol ve otomasyon izleme ve güç panosu, bulunduğu yere göre ilgili NEMA sızdırmazlık şartlarını sağlamalıdır.
- Kullanılan kablolar, UVC lambalar için IP67 koruma sınıfında, pano ile lamba arasında tek parça olarak, sızdırmazlığı sağlanmış güç kablosu olmalıdır. Eğer kablo için ek yapmak gerekiyorsa, aynı nitelikli kablo ile su ve neme dayanıklı bağlantı yapılmalıdır.

**Emniyet Anahtarları:** Emniyet anahtarları bakım personelinin UVC ışığına maruz kalmaması için kullanılır. UVC düzeneği görüş alanı içindeki tüm erişim panelleri ve kapılarının açılması durumunda UVGI sisteminin enerjisini kesmek için mekanik kilitleme anahtarları kullanılmalıdır.

**İç bağlantı Kabloları:** Lambalar, 600 VAC yazılı UVC ve neme dayanıklı kablolar kullanılarak güç kaynaklarına bağlanmalı ve IP67 su geçirmez kablo ara bağlantı soketleri içermelidir.

**Konektör ve Bağlantılar:** Bütün konektörler ve bağlantı

parçaları su geçirmez olmalıdır. Kilitli tip su geçirmez bağlantılar, erkek dişi soketlerin kolayca çıkartılıp takılmasına uygun olarak, kritik mahallerde problem çıkartmayacak şekilde monte edilebilir. Dişli tip soket veya bağlantı elemanına elektrik bağlantısı yapılmamalıdır.

**Balast:** Elektronik tip, hızlı start güç faktörü 0,95 ve enerji çevrim değeri %75'ten büyük balast kullanılmalıdır.

Balast, işletme sırasında problem olduğu takdirde işletme operatörü tarafından hızlı bir şekilde değiştirilebilir olmalıdır. Eğer el ile kontrol edilmek isteniyor ise, güç panosu içerisinde aşağıda ana besleme kontrol panosu içerisinde belirtilen göstergeler ile yapılmalıdır. Otomatik kontrol yapılmayan sistemler için, devreye alma esnasında yapılan testlerin iki aylık periyodlarla tekrar edilmesinde fayda vardır.

**Lamba Durum Göstergesi:** Her bir lamba grubu için çalışma durumunu gösteren AÇIK/KAPALI anahtar ve yeşil/kırmızı lambası olmalıdır. "Çalışıyor" göstergeli her bir modül için lamba olmalıdır. Her bir lamba için, lambanın yerini, lamba statüsünü ve arızasını gösteren, ışıklı veya alfa-nümerik ekranlı LCD göstergeli Lamba İzleme Sistemi bulunmalıdır. Ayrıca bu ekranda, topraklama hatası ve devre dışı kalan lambaların durumlarını belirten sesli uyarı da bulunmalıdır.

**UVC Işınım Detektörü:** Radyometreler, lamba çalışmasını, UVC yoğunluğunu ve ömrünü (saat metre) izlemek için kullanılır. Tedarikçi firma, işletmecinin istemesi durumunda Radyometreyi temin edecek ve kullanım kılavuzunu sağlayacaktır.

- UVC sensörleri her bir lamba modülü için toplam yüzey koruma alanının üzerinde ışınımın doğru şekilde ve hesaplanan sınırları içerisinde olduğunu ölçerek kayıt altına alınmasını sağlar. Algılama sınırları 254,5 ve 255,0 nm için fabrikada kalibrasyonu yapılmış sensörlerin, ölçtüğü değerlerin bahsedilen değer aralığı içerisinde olmaması durumunda alarm üreterek işletmeciyi personelini uyarması gerekir. En az her lamba grubu için bir adet sensör kullanılmalıdır.
- Çalışma süresi, sıfırlanamayan tipte çalışma sayacı ile 0-99.999 saat arasında kayıt altında tutulmalı, lambalar bu süre dahilinde otomatik olarak bakım için uyarı göndermelidir.
- Üç Konumlu (EL-KAPALI-OTOMATİK) Kontak anah-

tarları her bir UVC grubu için kapak açılması, bakım, lamba değişmesi esnasında emniyet için pano kapağı üzerinde kontakları ile konulmalıdır. Alarm sadece görsel değil sesli de olmalıdır.

**Önemsiz Alarmlar:** Küçük alarmlar, kuru kontak lamba ile bağlantılı olup, dikkat çekmek için gösterilir.

- Düşük UVC ışınım alarmı,
- Her lamba için arıza sinyali.

**Önemli Alarmlar:** Önemli alarmlar, sistem performansını etkilediği için sistem durdurma ve sesli ve ışıklı uyarı alarm sinyalleri ile gösterilir.

- Düşük UVC yoğunluğu,
- Peş peşe aynı sırada iki veya daha fazla lamba çalışmaması,
- Çoklu lamba arızası,
- Modül arızası.

## 4. SONUÇ

UVC lamba kullanımına yönelik olarak bir ürün seçildiğinde, pandemi risklerinin etkisizleştirilmesi sağlanırken, insan ile diğer canlılar için sağlık ve emniyet tedbirleri alınmış olarak bu sistemlerin kullanılması sağlanmalıdır.

Piyasa şartlarında yurtdışından getirilen UVC lambalar ve ürün bileşenlerinin uyumluluğu, uluslararası sertifikalar ile kanıtlanmalı, yerli montaj yapılan ürünler için de merdiven altı uygun nitelikte olmayan ve emniyet şartlarını sağlamayan gerek TSE gerek üniversiteler tarafından bütün halinde test edilmemiş ürünlerin piyasaya sunulmasına izin verilmemelidir.

## KAYNAKÇA

- NIOSH ("National Institute For Occupational Safety and Health") Fast Facts: Protecting Yourself From: Stinging Insects; Sun Exposure; Poisonous Plants; Cold Stress Misc. Supplies – October 18, 2016.
- ISO 21348:2007 "Process for Determining Solar Irradiances"
- Bell, K. Y., Silva, A. de.** "Innovations in Wastewater Disinfection Technology"
- ASHRAE Handbook -2016. "HVAC Systems and Equipment - Chapter 17 Ultraviolet Lamp Systems"
- Kauffman 2011
- ACGIH (2015)