

KLİMA SİSTEMLERİ İÇİN AKTİF SÜREKLİ DEZENFEKSİYON UV-C UYGULAMALARI

Serdar Uzgur¹

1. GİRİŞ

Kapalı alanlar söz konusu olduğunda elimizde sadece üç çeşit havalandırma metodu bulunmaktadır;

- Doğal havalandırma (Özellikle iklim şartlarının uygun olduğu bölgelerde, iç ortam hava şartları açılabilen pencereler ve hava akımı ile sağlanır ve egzoz havası ve aynı yöntemle dışarı atılır.)
- Karışım havalı havalandırma (Hava, ister taze hava santralinden hacme beslensin ister karışım havalı santral ile beslensin, iç hava kalitesini ve konfor şartlarını sağlamak için gerekli olan hava, hava kanalları vasıtası ile sağlanır. %100 dış havalı santral kullanılıyor ise, mutlaka alınan dış hava kadar egzoz yapılmalıdır. Eğer taze hava ve dönüş havası karışım santralinde kullanılıyor ise, santral üzerinde egzoz atış ve taze hava alış kanalları dış ortama bağlanır.)
- Yer değiştirmeli havalandırma (Genel olarak yüksek hava değişimi gereken hassas sıcaklık ve nem şartları istenen ortamlarda, iç ortam havası, şartlandırılan hava ile çok düşük hava hızları ile yer değiştirir.)

Yukarıda belirtilen hangi yöntem kullanıldığında iç hava kalitesinin yaşamaya uygun şartları oluşturduğu da önemlidir. Bulduğunuz iklim koşulları ve çevresel hava kalitesi, sizler için gereken iç ortam şartlandırma ve konfor koşullarını da seçilecek havalandırma koşullarını da sizlere zorunlu kılar. Özellikle klima ve iç hava şartlarını belirlerken kılavuz kabul edilen ASHRAE 62.1'de, kapalı alanın kullanım koşullarına ve mahaldeki insan sayısına bağlı olarak gereken taze hava miktarı, 2016 yılındaki düzenlemeye kadar öncelikle konfor esas alınarak tarif ediliyordu. 2016 versiyonu ile, iç hava şartları için EPA tarafından tehlikeli kabul edilen temel birleşenler değerlendirilerek belirlenmiş olan iç hava kalitesinin sağlanması için, dış ortam kalitesine bağlı olarak farklı filtre ve işlemler ile önlem alınarak sistemlerin kurulması kılavuzunu oluşturmuştu.

ASHRAE, süreç içerisinde covid-19, ayrıca standart uygulamalara, özellikle aerosol etkisi ile 1 mikron altındaki ölçüdeki virüsler ve benzer nitelikteki insan sağlığını tehdit eden tehlikeli organizmalara karşı ek önlemler alınmasını önerirken, daha önce sınırlı kullanımı olan filtre dışında

¹ Makine Mühendisi - serdar.uzgur@uzgur.com

başka dezenfeksiyon araçlarını gündeme getirmiştir. Bu makale, yenilenmiş ASHRAE 62.1 2016 içerisindeki klima hava prensip şeması için covid-19'a yönelik olarak önerilen düzenlemeler için yazılmıştır.

2. İÇ HAVA KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASI

Her şart altında temiz hava standartları gerek dış hava gerekse iç hava kalitesini en üst düzeyde tutmak için Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtilen havalandırma ve egzoz havası için enerji emniyetli yüksek tasarruflı klima tasarımı bina ve ortamları zorunlu kılmaktadır [1].

İç hava kalitesini mikropsuz hale getirmenin Amerika Birleşik Devletleri için getirisinin aşağıdaki değerlerde olabileceği öngörülmektedir.

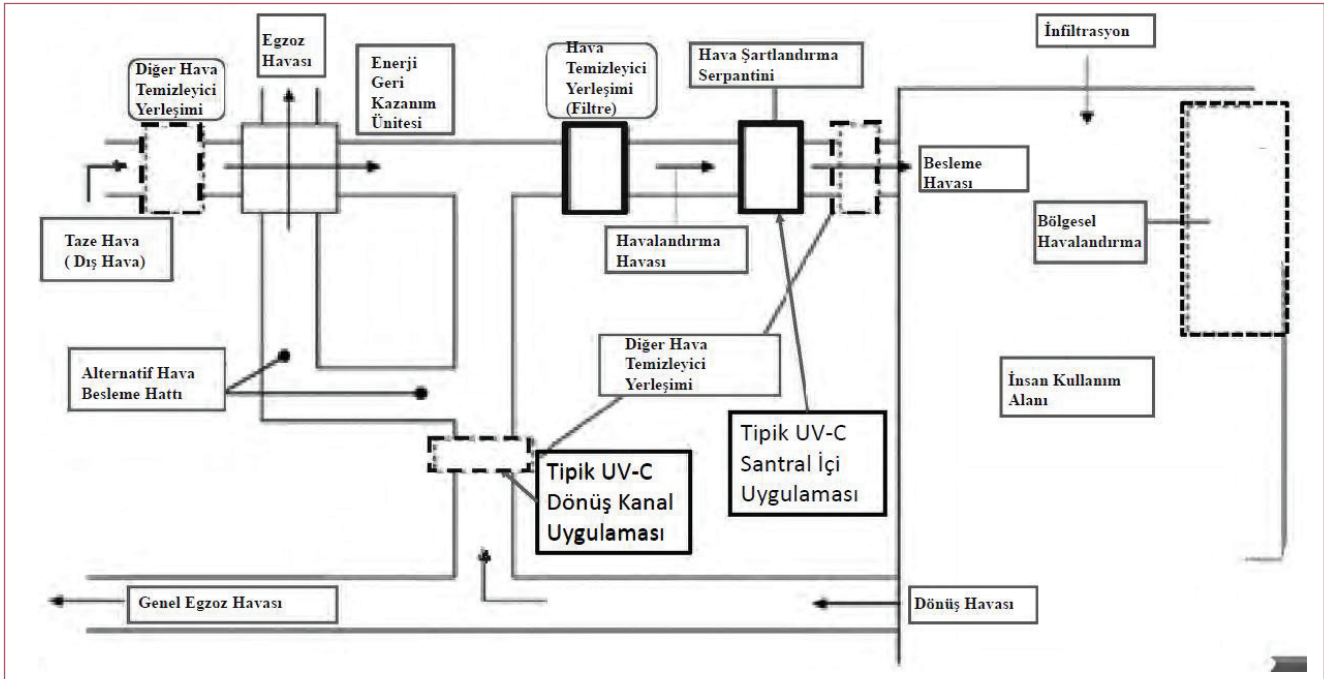
- Ciğer hastalıklarının azalması ile tahmini potansiyel yıllık tasarruf ve verimlilik kazançları \$6 milyar ila \$14 milyar;
- Alerji ve astım riski azalması ile \$2 ila \$4 milyar tasarruf;
- Hasta bina sendromu semptomları ile \$10 ila \$30 milyar tasarruf; ve
- Hastalıktan etkilenmemek nedeniyle artan işçi performansı ile 20 ila 160 milyar dolar tasarruf elde edilebilir.

Yukarıda tasarruf edilmesi muhtemel parasal kazanç için

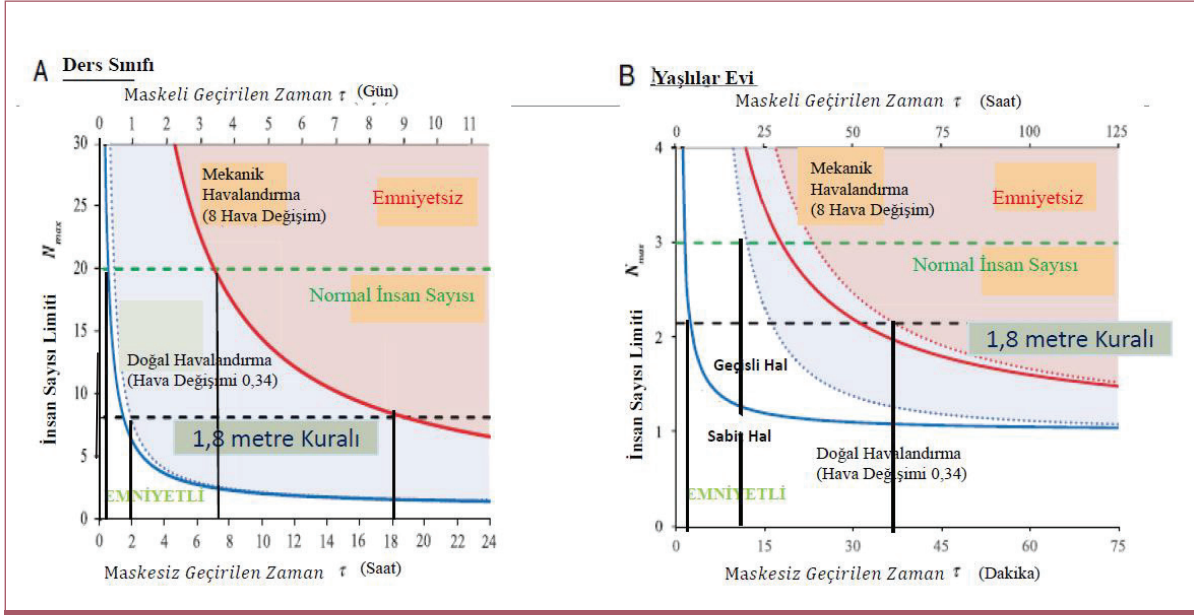
tasarım düzeltmeleri planlanırken, Şekil 1 ve Şekil 2'deki şemalarda [2] görülen ek filtre/dezenfeksiyon ekipmanları olarak kullanılacak çeşitli tip ve nitelikte hepa filtre, elektrostatik filtre gruplar, ozon veya UV-C dezenfeksiyon sistemleri kullanılması önerilmektedir.

Diğer yöntemlerin etkisi, hali hazırda kısmen dezenfeksiyon sistemleri için tartışılrsa da UV-C kendini ispatlamış ve yeterince klinik test sonuçları [3] olan en etkili sistemlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

2020 tarihinde MIT Üniversitesinde yayınlanan ve daha sonra da 2021'de yenilenen "Cov-19 parçacıklarının iç havada transfer kılavuzu [4] adlı yazıda, prensip olarak covid-19 için karışım havalandırma kapalı ortamlarda maskenin, sosyal mesafe 1,8 metre ölçüsünden daha etkin koruyucu olduğu tezini, sınıf ve yaşlılar evleri için nefes alıp verme işlemleri nedeniyle bulaş risklerini matematik model ile incelemişlerdir. Bulaş mekanizmalarını incelemek için ağızdan çıkan damlaların ölçeklendirilerek dağılımı yapılmıştır. Model üzerinden çeşitli parça büyüklüklerine bağlı olarak ortam içerisinde dolaşan ortam havası ile virüslerin sayısının artışı ve ortam içerisinde kalınma süresi ile hastalık riskinin doğrudan arttığı belirlenmiştir. Şekil 3'te çeşitli aktiviteler ile aerosol oranlarını damla çap değişimine göre ve Şekil 4'te ise ortamdaki insan sayısının ortamda bulunma süresine göre artışı



Şekil 1. Önerilen Klima ve Taze Hava Şartlandırma Prensip Şeması [3]



Şekil 4. Ders Sınıfı ve Yaşlı Evi için Sosyal Mesafe, Maske ile Doğal-Mekanik Havalandırma İnsan Sayısı Sınırı [4]

göstermektedir. Özellikle sosyal mesafe kuralının sınırları, dikkat edilen en önemli konu olup, doğal havalandırma ve mekanik havalandırma hava değişim sayılarına göre riskin büyüklüğü tanımlanmıştır. Bu artışın UV-C ile düşürülerek etkisizleştirildiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, etkili virüs etkisizleştirme işlemleri olarak, ultraviyole radyasyonu (UV-C) [5] veya kimyasal dezenfeksiyon (H_2O_2 , O_3) [6] işlemleri bir adım öne çıkmaktadır.

3. UV-C LAMBALARININ KULLANILMA KURALLARI

Şekil 4'te görülebileceği üzere, dersliklerde, maskesiz olarak öğrenci sayısına bağlı olarak emniyetli kalma süresi, doğal havalandırmalı dersliklerde dakikalar ile sınırlıyken, maskeli olarak 30 kişi için 2 güne kadar çıkmaktadır. Mekanik havalandırma (8 hava değişimi) ile 20 kişilik sınıflarda maskeli olarak 6-8 saate kadar olan hastalık riskinin, 1,8 metre sosyal mesafe kuralı ile emniyetli ve emniyetsiz sınırları değişmektedir. Doğal havalandırma ile, ortam içerisinde 0,34 hava değişimi ve 8 kişi ile 2 saate kadar ve mekanik havalandırma ile 18 saate kadar potansiyel riskle maskesiz kalınabilmektedir. 20 kişiye kadar aynı mahal için 1 saat ortam emniyeti söz konusu iken, potansiyel riskle 7 saat maskesiz kalınabilir. Mekanik hava dağıtım elemanlarının %100 taze hava verilirken iç havanın da üfleme sırasında sürüklenerek taze havaya karışması sonucu tamamen emniyetsiz ortama sebep olmaktadır. Yaşlılar evi için tek kişilik odaların emniyetli olması dışında,

belirli sürelerde veya sürekli doğal havalandırma yeterli gözükmemektedir. Eğer aynı ortam içerisinde 2 kişi mevcut ise, 30 dakika sonrası doğal havalandırma yapılsa bile riskli ortama sebep olmaktadır.

Mevsimlerden arındırılmış ve nem kontrollü olarak yapılan bu testler ve sonuçları, enerji ekonomisi hesaba katıldığı zaman, yalnızca %100 dış hava alınıp egzoz edilerek steril ortam sağlanması durumu sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Hava dağıtım sistemlerinin mutlaka yer değiştirmeli sisteme dönüştürülmesi veya maske, sosyal mesafe koşulu olan 1,8 metre ve kapalı yerde kalma süresini kontrol ederek dönüş havalı santraller üzerinde UV-C lambaları kullanılması gerekmektedir. Ayrıca bu yöntem, doğru tasarım ile virüslerin, mantar, mikrop, küf ve sporların da üremesini engellemektedir. Taze hava ile ilgili EPA tarafından kabul edilen sırasıyla havadaki toz, $PM_{2.5}$, PM_{10} [$\mu g/m^3$], Kükürt dioksit SO_2 [$\mu g/m^3$], Azot dioksit NO_2 [$\mu g/m^3$], Karbon dioksit CO_2 ppm, Karbon Monoksit CO [$\mu g/m^3$], Ozon O_3 [$\mu g/m^3$], Azot oksitler NO_x - ana (beş) sekiz parametrik değerler Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir.

Bu işlem için iki tip UV-C ışınımı kullanımı söz konusudur.

- 1- 253,7 nm dalga boyunda olan ve klima santrallerinde yüzey ile kanal dezenfeksiyonu için veya genel olarak piyasada karşılaşılan mavi ışıklı tüm ekipmanlarda

Tablo 1. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları [7]

İndeks	HKİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 - 50	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
Orta	51 - 100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
Hassas	101 - 150	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	151 - 200	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
Kötü	201 - 300	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
Tehlikeli	301 - 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

Tablo 2. İndeks Hesaplanan Parametrelerin Sınır Değerleri [8]

Parametre	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
	1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
Ulusal Sınır Değer	410	270	10.000	120	70
AB Üye Ülkeleri Sınır Değeri	350	200	10.000	120	50

kullanılan UV-C lambaları. Bu sistemler, Tüm Ultraviyole Mikrop Kırıcı Işınlama (UVGI) sistemi olarak adlandırılmaktadır.

- 2- 222 nm dalga boyunda olan genellikle açık hava veya uzak mesafelerde kullanılan ve FAR UV-C olarak adlandırılan virüs etkisizleştirme ürünleri.

Burada 253,7 nm dalga boyunda olan UV-C lambaların, klima santrallerinde tasarım ve uygulama ilkelerinden bahsedilecektir. Ayrıca oda içerisinde doğal havalandırılmalı kapalı alanlarda ısınan havanın yükselmesiyle tavana monte edilen tavan tipi cihaz içerisinden geçerken virüslerin etkisizleşmesini sağlayan tip üniteler daha kullanıcı dostu ve basit olan otomatik cihazlardır. Bu tip cihazlar genel olarak doğal havalandırılmalı olan ve mekanik havalandırma yapılmayan ortamlarda iç hava kalitesini kontrol etmek için tasarlanmışlardır.

Klima santralleri ve dönüş hava kanalları içinde kullanılan tip UV-C lambalar, bir dizi hesap ve ışınım süresi ile ilintili kesit alanları için kuralları oluşturmak ve bakım onarım amaçlı yapılması gerekenleri açıklamak için hazırlanmıştır.

4. ÜRÜN TARIFI

Merkezi klima santralleri içerisinde su soğutma serpantinleri ve split gazlı soğutma serpantinlerini dezenfeksiyon için ultraviyole C-Bandında (UV-C) ünitesi monte etmek gerekir. Işınım dağılımının düzgün olarak tüm yüzeyde ve drenaj tavasında eşit olmasını sağlamak için UVC lamba ve lambaları ile ve algılayıcıları yeterli sayıda ve tüm yüzeyi ışınımın kapsamaları için konuşlandırma sağlanmalıdır. Enerji kaynağı yüksek elektronik tip güç sağlayıcı olmalıdır. Serpantin öncesi ve sonrası yerleşimde yapılan montaj durumunda, en yakın serpantin yüzeylerine en az 820 µW/cm² veya daha üzeri ışınım sağlanmalıdır.

En uzak noktada da bu ışınım değerinin %60'ının altında bir değere düşmemelidir. Eşit miktarda ışınım, drenaj tavasına direk veya yansıyarak sağlanmalıdır. Montajda, yukarıdaki belirtilen nedenle yüzey için konulması gereken set sayısı doğru hesaplanmalı ve lambalar serpantin kanatlarına doğru açı ile ışınım ve yansıma sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece cihaz üzerinde ekstra direnç oluşmasına izin verilmemelidir. Montaj yeri olarak uygun mesafeler olması durumunda, ısıtma serpantini tarafına lamba üniteleri konulmalı, yeterli mesafe olmaması durumunda, fan tarafında yerleştirme gerekli tedbirler alınarak yapılmalıdır. Pandemi dışındaki dönemlerde de $820 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ değeri korunmalıdır.

Dönüş kanalı hava toplama kutusu uygulamalarında, cihazın dönüş hava emişinde dışarıdan erişilebilir F7kalite filtre bulunmalı gerek cihaz gerekse filtre için müdahale mesafeleri her doğrultuda bulunmalıdır. Yapılan bu toplama/dağıtım kutusu ile, cihaz bağlantı kanalı arasında ayrıca hava basıncını dengelemek için damper ve kutu ile en yakın dağıtım veya toplama branşmanı arasında hesap edilen debi ile ışınım etkisinde kalınan süre değerine göre tasarım ve ölçülendirme yapılmalıdır. Pandemi dışı dönemlerde komple filtre kirliliği ölçümlenerek UV-C cihazı kapatılabilir. Işınmaya maruz kalan filtreler, malzeme olarak cam elyaf esaslı olmalıdır.

UV-C ünitesi, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- UV-C lamba modülü ve destek ve bağlama malzemeleri
- Emniyet anahtarları
- UVGI sistem kontrol panelleri
- Kablo ve iletişim kabloları
- UV-C ışınım izleme sistemi (opsiyonel)
- UV-C radyometreleri (opsiyonel)
- Gözetleme camı (UV-C korumalı)
- Yedek parçalar.

5. TASARIM ŞARTLARI

5.1 AHU (klima santrali) Ultraviyole Ekipmanları İçin Hava ve Yüzey Dezenfeksiyonu İçin Karakteristik Değerler

UV-C lambalar, soğutma bataryası yüzeyini temiz tutmak

için kullanıldığında, UVC enerjisi, en az 1 metre mesafedeki 1 inç boyutundaki lamba başına $4-10 \text{ mikro W.sn}/\text{cm}^2$ 'den daha az olmamalıdır. İki yıllık süre zarfında %20'den fazla ışınım kaybına (ilk çıktısının %80'i) izin verilmez, bu lambaların klima santrali içindeki yerleşimleri soğutma bataryası önünde olmalıdır. UVC lambaların verimli çalışabilmesi için lambalar soğutma bataryasından 30-90 cm (12"-36") mesafede monte edilmiş olmalıdır. UVC lambalar, soğutma bataryası ve drenaj tavasını görecektir şekilde yerleştirilmiş olmalıdır. UVC ışınım süresi yüzey temizliği için kullanıldığında maruz kalma süresi kısa olduğu için, sadece bakteri ve mantar sporlarına karşı etkili olur. Bu durumda, UVC direnci fazla olan virüs, bakteri ve mikroplara karşı etkisi azdır. UVC lambalar paralel yerleştirildiğinde aralarındaki mesafe 35" (90 cm)'den fazla olmamalıdır. Yukarıda belirtilen $10 \mu\text{W.sn}/\text{cm}^2$ değeri cov-19 referans değeridir, 1 metre mesafe için geçerlidir ve UVC ışık kaynağı lambaların batarya ve drenaj tavasına olan mesafesi de bu 1 metre değerini geçmemelidir. 30 cm'den daha yakın mesafeye monte edilen lambaların aralarındaki mesafe 80 cm'den daha fazla ise, batarya yüzeyinde ışık görmeyen kısımlar oluşacaktır. Tedarikçi, bu değerlerin tamamını orijinal seçim çıktısı üzerinde göstermeli ve ışınım değerlerini garanti etmelidir. Lambaların yoğunlaşma suyunun kopan damlalarından etkilenmemesi için gerekirse lambalar koruyucu bir kılıf ile kaplanmalıdır. Hesap yapılırken yansıma katsayısı kullanılamaz. Frekans kontrollü değişken debili klima santralleri otomasyon ile hava debisi alt ve üst sınırları içerisinde sürekli değişikliğe uğradığı için tasarım sırasında öngörülen üst sınır değeri içerisindeki taşınan patojenlerin miktarı da aynı olmamaktadır devreye alırken ölçülen alt üst debi değeri karşılaştırılmalıdır;

En Yüksek Debi, m^3/sn . ilk miktar [____], Tasarım [____]

Ortalama Debi, m^3/sn ilk miktar [____], Tasarım [____]

En Düşük Debi, m^3/sn ilk miktar [____], tasarım [____]

UV-C ışınımı 253,7 nm, 1 metrede 1 cm yüzeye [____]

olarak çalışma aralıkları tanımlanmalıdır.

5.2 AHU (klima santrali) Ultraviyole Ekipmanları Kanal İçi Hava ve Yüzey Dezenfeksiyonu İçin Karakteristik Değerler

HVAC sistemlerine veya ilgili kanal sistemine monte edil-

² F7 filtre, EN ISO 16890 standardına göre, gerçek ölçüm sonuçlarına göre ortalama verimlilik aralığı ePM1 ePM2,5 ePM10 için sırası ile %40-%65, %65-%75, %80-%90 toz tutma oranına sahip torba filtredir.

miş UVC lambalarının D99 (%99,9) oranında başarı sağlanması için kullanılmakta olan tek aşamalı bozulma denklemi aşağıdaki gibidir.

$$S = e^{-kD}$$

S = Hayatta kalma oranı (%)

k = UVC oranı sabiti, m²/J

D= Gerekli UVC dozu

S değeri %0,1 veya daha düşük ise UVGI sistemi tasarımı başarılıdır. Havalandırma sisteminde UVGI tasarımı yaparken ışın yoğunluğunu sağlamak için kullanılacak parametreler, hava miktarı, hava hızı ve havanın geçtiği sistemde ışığa maruz kalma süresidir. Havanın geçtiği ortamın (kanal veya cihaz içi) kesiti ve boyu önemlidir. Havanın ışınımına maruz kaldığı süre azaldıkça kullanılacak UVC dozu artacaktır. Bunun için kullanılan eşitlik de aşağıda verilmiştir.

Gerekli UVC dozu ($\mu\text{W.sn/cm}^2$) (D) = Yoğunluk ($\mu\text{W/cm}^2$) x Maruz kalma Süresi (sn.)

Havanın ışık yoğunluğunda geçiş süresi ve yoğunluk miktarı, lamba sayısını belirler. Tedarikçi firma seçim çıktılarında ve hesap dosyasında bu değerleri açıkça göstermelidir. UVC lambalar, kanal içine monte edilebilir veya klima santrali içinde yeterli boşluk sağlanması koşulu ile soğutma bataryalarına yakın yerlere monte edilebilir. Böylelikle hem batarya temizliği sağlanmış olur hem de virüs, spor, bakteri, mantar küf gibi tehlikeli ve insanın hassas olduğu hastalık yapıcı mikro organizmaların etkisizleştirilmesi sağlanmış olur. Mevcut kurulu sistemleri iyi analiz etmek ve doğru tasarım sağlamak önemlidir.

Pandemi dönemi dışındaki dönemlerde insanların doğal bağışıklık sistemlerinin çökmemesi için, yukarıda belirtilen dozda ışınım yapılmaması, ışınım şiddetinin, sadece yüzey dezenfeksiyonu için gerekli kıstas olan [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.

Ultraviyole ekipmanları, 12 ay 24 saat kanal içi hava ve yüzey dezenfeksiyonu için karakteristik değerleri içinde çalışmalı ve pandemi dönemlerinde tasarım değerlerine uygun kesintisiz 24 saatlik dezenfeksiyon sağlamalıdır.

6. SONUÇ

Enerji tasarrufu ve pandemi riskleri etkisizleştirilmesi sağlanırken dış hava şartlarının sağlık kıstası özellikle sekiz parametre ile tanımlandığından dolayı pandemi süreci veya öncesi ve sonrası için dış hava koşulları, mutlaka bulunduğu bölge ve şehirle ilgili olarak çeşitli kademelerde filtre işlemlerine gereksinim duymaktadır. Özellikle toz, mantar, spor ve virüsler yönünden iç hava kalitesini sağlamak için ise şartnamelere uygun biçimde ve filtre dışında sterilizasyon ve dezenfeksiyon amacı ile UV-C ürünleri kullanılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. **Lesavoy, G.** 2016. "Air Decontamination" WBDG - Whole Building Design Guide
2. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality"
3. VanOsdell, D.; Foarde, K, L 2002, "Defining the Effectiveness of UV Lamps Installed in Circulating Air Ductwork", DOE/OR22674/610-40030-01R ARTI-21CR/610-40030-01R; TRN: US200310%%101
4. **Bazant M.Z. ve Bush J.W.M., L.** 2020. "A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19"
5. **Garcia de Abajo F. J, L** 2020. "An old physics route to reduce SARS-CoV-2 transmission in indoor spaces"
6. **Schwartz, A.** 2020. "Decontamination and reuse of N95 respirators with hydrogen peroxide vapor to address worldwide personal protective equipment shortages during the SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic.", Applied Biosafety 25, 67–70
7. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ulusal Hava Kalite izleme sistemi
8. İndeks Hesaplanan Parametrelerin Sınır Değerleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ulusal Hava Kalite izleme sistemi