



**Bu bir MMO  
yayıdır**

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

## **İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ İYİLEŞTİRME CİHAZLARI, PERFORMANSLARI, TARİHSEL GELİŞİMİ VE GELECEĞİ**

**GÜLEN GÜLLÜ**  
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ



# İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ İYİLEŞTİRME CİHAZLARI, PERFORMANSLARI, TARİHSEL GELİŞİMİ VE GELECEĞİ

*Performance, Historical Development and Future of Indoor Air Cleaning Devices*

**Gülen GÜLLÜ**

## ÖZET

İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde hava kalitesi iyileştirme cihazlarının kullanımı gelişmiş ülkelerde oldukça yaygın bir uygulamadır. Özellikle son 50 yıl içinde, farklı türdeki kirleticiler için hava temizleme teknolojileri geliştirilmekte, gelişmiş ülkelerde sanayi, ticaret merkezleri ve konutlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun süredir yaygın olarak kullanımlarının aksine, bu teknolojilerin kirletici giderim etkinlikleri, enerji kullanımları ve sarf malzeme üretim gereksinimlerine yönelik araştırmalar son derece sınırlıdır. İç ortamlarda hava temizleme amacıyla kullanılan cihazlar yaygın olarak HEPA filtre, UV dezenfeksiyon, aktif karbon ve ozon teknolojisi ile geliştirilmiştir. Bu bildiride, farklı türdeki kirleticiler için geliştirilen hava temizleyiciler tanıtılacak, cihazların partikül madde, biyoaerosol ve gaz kirleticilere yönelik giderim verimliliklerine yönelik literatürde yer alan çalışma sonuçları verilmiş, cihazların verimlilikleri kıyaslanmıştır. Bu cihazların kirletici giderim verimliliklerinin yanı sıra sarf malzeme ihtiyaçları ve enerji sarfiyatları da göz önüne alınarak iç ortam temizleme amacıyla kullanımlarının genel etkinlikleri tartışılmıştır. Son olarak hava temizleme cihazlarının iç ortam kalitesinin iyileşmesinde ve sağlık üzerine etkilerinin belirlenmesinde yapılması gereken çalışma gereksinimi ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hava temizleyici, hava filtresi, iç ortam hava kalitesi, ozon, partikül madde, UOB

## ABSTRACT

Air cleaning equipment use in indoor environments in order to reduce the contaminant concentrations are common application especially in developed countries. Especially in the last 50 years, air purification technologies have been developed for different types of pollutants and are widely used in industry, trade centers and residences in developed countries. Contrary to their long-term, widespread use, these technologies are extremely limited in their search for pollutant removal activities, energy use and consumable production requirements. The devices used for indoor air cleaning are widely developed with HEPA filter, UV disinfection, activated carbon and ozone technology. In this report, air cleaners developed for different types of pollutants were introduced, and the efficiency of the devices were compared by transferring the results of the studies in the literature on the removal efficiency of the devices for particulate matter, biyoaerosol and gaseous pollutants. The overall efficiency of their use for indoor cleaning purposes were discussed, taking into account the efficiency of pollutant removal as well as consumables and energy consumption. Finally, additional work needs for the role of air cleaners in improving indoor quality and it's reflect on health improvement were discussed.

**Key Words:** air cleaner, air filter, indoor air quality, ozone, pariculate matter, VOC

## 1. GİRİŞ

İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi kirletici kaynakların ortamdaki uzaklaştırılması, havalandırma ve hava temizleyicilerin kullanımı gibi üç temel yaklaşımla sağlanabilmektedir. İç ortam hava kalitesi iyileştirme hiyerarşisinde kabul gören en iyi yaklaşım kirletici kaynakların ortamdaki uzaklaştırılması iken, havalandırma ikinci seçenek ve hava temizleyicilerin kullanımı da son seçenek olarak kabul görmektedir. İç ortamda kirletici kaynaklardan biri de insanın kendisi olduğundan, ortamdaki tamamen uzaklaştırılabilmemesi her zaman mümkün olamamaktadır. Havalandırma seçeneği de, dış ortam hava kalitesinin uygun olmadığı durumda veya enerji etkinliği için uygun olmayan bir seçenek olarak görülebildiğinden hava temizleyicilerin kullanımı yaygın olarak uygulanan bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

İç ortam hava temizleyicileri maruz kalındığı durumda önemli sağlık sorunlarına neden olan iç ortam alerjenlerini (ev tozu akarları, fare, hamamböceği, ev hayvanları vb.) ve alerjik olmayan iç ortam kirleticilerini (sigara dumanı, soba dumanı, uçucu organik bileşikler, partikül madde vb.) ortamdaki uzaklaştırma için kullanılan farklı teknolojilere göre geliştirilen araçlardır. Bu konudaki bilimsel gelişmelere paralel olarak, hava temizleme cihazlarının geliştirilmesi ve kullanımında son yıllarda hızla artan bir oran gözlenmektedir. İç ortam hava kalitesi ve hava temizleme cihazları ile ilgili hemen hemen her yıl yaklaşık olarak 100 yeni makalenin literatüre katıldığı gözlenmektedir. Yapılan yayınlar, hava temizleme cihazlarının performansları, enerji tüketimleri, iç ortam hava kalitesi iyileştirme üzerindeki etkileri ve sağlık etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak gruplandırılabilir. 2000'li yıllara kadar, genel olarak partikül madde giderimine yönelik hava temizleme cihazları hakkında çalışma sonuçlarına rastlanırken, son yıllarda geliştirilen cihazların gaz fazı kirleticilere odaklandığı görülmektedir. Gerçek bina uygulamalarında da, partikül madde giderimine yönelik uygulamalar daha yaygın olarak gözlenirken, gaz fazı kirleticilerin giderimine yönelik uygulamalar son derece sınırlıdır.

Bu bildirinin amacı, iç ortam hava kalitesi iyileştirilmesine yönelik olarak geliştirilen farklı türdeki hava temizleme cihazlarının tanıtılması, iç ortam hava kalitesi iyileştirme verimliliklerine yönelik literatürde yer alan çalışma sonuçlarının aktarılmasının yanı sıra sarf malzeme ihtiyaçları ve enerji sarfiyatları da göz önüne alınarak iç ortam temizleme amacıyla kullanımlarının genel etkinliklerinin tartışılması amaçlanmıştır. Bildiri dört ana bölümden oluşmaktadır, ilk bölümde hava temizleme cihazlarının tarihsel gelişiminden bahsedilmekte, ikinci bölümde genel olarak günümüzde kullanılan hava temizleme cihazlarının genel özellikleri verilmekte, etkinliklerinin ortaya konması açısından bilimsel literatürde yer alan hava temizleme cihazları ile ilgili çalışmalar özetlenmiş ve son olarak gelecekte hava temizleme cihazlarında gözlenebilecek gelişmeler verilerek, gereksinim duyulan hava temizleme teknolojisi ile ilgili araştırma alanları hakkında bilgi verilmiştir.

## 2. HAVA TEMİZLEYİCİ CİHAZLARIN TARİHÇESİ

Hava filtreleme konusunda ilk uygulamalar 16. yüzyıla kadar uzanmaktadır. O dönemde, gazları, buharları veya toz parçacıklarını filtrelemek için ağız ve burunu kapatan maske kullanımı gözlenmektedir. 16. yy'de Leonardo da Vinci, gemiciler için silahlarından çıkan toksik gaz ve dumandan korumaya yönelik olarak suya batırılmış ince dokunmuş kumaştan dokunmuş filtre geliştirmiştir. 1799 yılında Alexander von Humoldt, Prusya'da maden mühendisi olarak çalışırken ilk ilkel soluma cihazını geliştirmiştir. Lewis P. Haslett, hava kirliliğini filtrelemek için nemli yün ve tek yönlü bir kapak valfi kullanılan ilk resmi hava temizleyicisi patentini 1849 yılında almıştır [1]. Sonrasında, 1879 yılında Hutson Hurd, herkesin aşına olduğu fincan şeklindeki maske patentini almıştır. 1900'ler hava filtreleri için ciddi değişiklikler getirmiştir. Sadece maskelere ve solunum cihazlarına dayalı hava iyileştirme uygulamalarına ek olarak, 2. Dünya savaşı sırasında radyoaktif kimyasallara karşı koruma amaçlı geliştirilen HEPA (High Performance Particulate Air) filtre sistemleri de 1940'lı yıllardan itibaren ortam havasının iyileştirilmesinde kullanılmaya başlamıştır. HEPA filtre teknolojisi, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, ticari işletmelerde ve evlerde kullanımına izin verilene kadar geliştirilmiştir. Başlangıçta geliştirilen ilk HEPA filtreleri Bolivya veya Afrika'dan ABD'ye ithal edilen asbest içermekle birlikte, ithal edilen asbestin gelecekte bulunmaması ihtimaline karşı yerli kaynaklarla temin edilebilen, aynı performans ve verime sahip filtre geliştirilmesine yönelik

araştırmalar yürütülmüştür. Zamanla, asbestin zararlarının tespit edilmesi sonrasında, filtrelerde asbest kullanımı yasaklanmış, geliştirilen ince cam elyafları ve aktif karbon gibi modern alternatifleri ile değiştirilmiştir. Evlerde kullanıma yönelik ilk hava temizleme filtresi, 1963 yılında Almanya'da makine mühendisi Klaus Hammes ve kardeşi Manfred tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, evlerden kullanılan kömürlü sobaların hava çıkışına yerleştirilen bir filtreden oluşmaktaydı. Zaman içinde, evlerinde bu filtreyi kullanan müşterilerin astım ataklarını azalttığı ve alerji semptomlarında azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir. Klaus Hammes, 1970'lerde, bu filtre sistemini geliştirerek, diğer ısıtma sistemlerinde de kullanılabilmesini sağlamıştır. Sonrasında Hammes, Kuzey Amerika'da otomobillerde kullanılmasına yönelik Mercedes-Benz araçları için kabin hava filtresi geliştirmiştir. 1998 yılında İsviçre ve Alman mühendisleriyle birlikte geliştirdikleri yüksek verimlilikte hava temizleme cihazını Avrupa piyasasına sürmüşlerdir.

### 3. HAVA KALİTESİ İYİLEŞTİRME CİHAZLARI

İç ortam hava temizleyicileri, genel olarak partiküller ve gaz fazı kirleticilerin tutulduğu cihazlar olmak üzere ayrı olarak tasarlanmaktadır. Partikül giderimi için kullanılan hava temizleme cihazları; mekanik hava filtreleri ve elektronik hava temizleyicileri olarak iki tip olarak tanımlanabilir. Gaz kirleticilerin giderimi ise fiziksel veya kimyasal prosesler içeren cihazlarla gerçekleştirilmektedir. İç ortamda yaygın olarak kullanılan hava temizleyicilerin fiyatları cihazın kullanılacağı alanın büyüklüğü, giderilmesi istenen kirletici türü, cihazın büyüklüğü, işletme ve bakım maliyetlerine bağlı olarak seçilmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan cihazların satış fiyat aralıkları ve işletme ve bakım maliyetleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Tablo 'da belirlenen satış rakamları internet üzerinden yurt dışı satış rakamlarıdır. Evlerde kullanılan standart hava temizleyicileri genel olarak yılda 550kWh elektrik tüketimine sahiptir. Bu değerleri tipik bir buzdolabı için tüketilen enerjiden daha fazladır. Son yıllarda hava temizleyicilerinin enerji verimliliğe sahip cihazlara dönüştürüldüğü gözlenmektedir. ENERGY STAR sertifikalı cihazlarda %40'dan daha yüksek enerji kazanımı sağlanmaktadır. Piyasada satışta olan cihazların ENERGY STAR belgeleri olanları için yıllık tüketilen enerji 225 kWh olarak gözlenmektedir.

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 ortamdaki bu kirleticilerin mekanik filtrelerle giderimi yüksek düzeyde gerçekleştirilememektedir.

Elektronik hava temizleyicileri, partiküllerin elektrostatik yıkayıcılar gibi elektrostatik güç ile tutumuna yönelik geliştirilen cihazlardır. Elektrostatik yıkayıcılar, partikül yüklü havayı partiküllere elektron yüklenmesini sağlayacak iyonizatör bölgesinden geçirdikten sonra negatif yüklü partiküllerin toplanması için pozitif yüklü plakaların arasından geçirip, partiküllerin plaka yüzeyinde toplanmasını sağlayan cihazlardır. İyon jeneratörü veya iyonizerler, elektrostatik yıkayıcılara benzer şekilde havaya negatif elektron yüklü iyonları yaymakta, ancak partiküllerin toplanmasını sağlayacak plakaların bulunmadığı sistemlerdir. İyon jeneratörlerinde, iyonlar partiküllere yapışıp, partikülün perde, mobilya gibi yakındaki en yakın yüzeye yapışmasına neden olarak ortamdaki uzaklaşmasını hızlandırır. En gelişmiş elektronik hava temizleyicileri bile 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 [9,10,11].

Her ne kadar bu cihazlar, ortamdaki partikül kirleticilerin giderimi için tasarlanmış ve kullanılmaktaysa da, cihazların kullanımına bağlı olarak zaman içinde cihazlara bağlı olarak ikincil emisyonlara rastlanabilmektedir. Özellikle, filtre sistemlerine sahip temizleme cihazları, belli bir süre kullanımdan sonra filtre ortamı üzerinde biyolojik büyüme ve buna bağlı olarak kokuya neden olabilen kaynak durumuna geçebilmektedir [13, 17]. Bazı yeni filtrelerde kullanılan fiberglas filtrelerden ortama formaldehit salındığı da tespit edilmiştir [18]. Pek çok çalışmada bu türden hava filtrelerinin ozon ile reaksiyonu [13,15] veya ozon ile reaksiyonları sonucu [12,13,14] uçucu organik bileşik (UOB)

emisyonlarına neden olduğu rapor edilmiştir. Filtre sistemleri ozon ile reaksiyon sonucu veya düşük etkinlikteki filtrelerden kaçan partiküllerin saçılmasına bağlı olarak iç ortamda ince partikül oluşumuna neden olduğu da tespit edilmiştir [12]. Bazı filtre sistemlerine eklenen az miktardaki aktif karbon ile ozon oluşumunun önlendiğinin gösterildiği çalışmalar bulunmaktadır [16].

Gaz fazı hava filtreleri, gaz kirleticilerini aktif karbon gibi gaz absorplama özelliği bulunan sorbentler üzerinde tutulmasını sağlayarak ortamdaki uzaklaştırmaktadır. Hangi gaz kirleticinin hangi sorbent ile tutulabileceği değişim gösterdiğinden bu türden filtreler sınırlı sayıda belirli türdeki gaz kirleticilerin ortamdaki uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. İç ortamlarda gözlenebilecek gaz kirleticileri oldukça değişken olduğundan ve gazların absorpsiyonlarının sağlandığı sorbentler hızla tıkanıdığından, bu türden kirleticilerin iç ortamda hava temizleyicisi olarak kullanımları sınırlıdır.

İç ortamda gaz ve biyoaerosol kirleticilerinin yok edilmesini sağlayan ultraviolele ışınlama, fotokatalitik oksitleme ve ozon jeneratörü vb. hava temizleyiciler de bulunmaktadır:

Ultraviolele temizleyiciler, UV lambalarından üretilen ultraviolele ışınlar ile ortamda bulunan veya klima/iklimlendirme sistemlerinde üreyen virüs, bakteri veya mantar gibi biyoaerosollerin giderimini sağlamaktadır. Genel olarak hava filtreleme sistemleri ile birlikte kullanılmakta, ancak tipik olarak evde kullanılan türlerinde sınırlı miktarda biyoaerosol giderimi sağlamaktadır.

Fotokatalitik oksidasyon temizleme sistemleri, iç ortamda gaz kirleticilerini daha az zararlı ürüne dönüştürmeyi amaçlayan, UV lambanın yanı sıra UV ışığı ile reaksiyona giren katalizör içeren sistemlerdir. Fotokatalitik sistemlerde kullanılan mevcut katalizörlerin etkinlikleri sınırlı olduğundan iç ortamda bu türden temizleyicilerin etkin bir şekilde kullanımının olmadığı söylenebilir. Fotokatalitik oksidasyon temizleme sistemlerinin kullanıldığı ortamlarda pek çok UOB oluşumu gözlenmiştir, sıklıkla gözlenen yan ürünler formaldehit, asetaldehit, propionaldehit ve krotonaldehit olarak rapor edilmiştir [22]. Benzer şekilde plazma hava temizleyicileri kullanılan ortamlarda da pek çok yan ürün oluşumu rapor edilmiştir [23].

Ozon jeneratörleri, kimyasal veya biyolojik kirleticiler ile reaksiyona girerek zararsız ürünlere dönüştürecek olan ozon üretimi için UV lamba veya elektriksel akım kullanan cihazlardır. Ancak üretilen ozon aynı zamanda, akciğerlerde tahrişe neden olarak, öksürüğe, geniz ve ve burun akması, astım ataklarına yol açabilen bir gaz olduğu için bu tür cihazların ortam havasını iyileştirirken ozon seviyesinin artışına neden olarak aynı zamanda hava kalitesini bozduğuna yönelik çalışma sonuçlarına literatürde rastlanmaktadır [3,6,7]. Ozon ortamdaki kimyasal kirleticilerle reaksiyona girerek bazı zararlı yan ürünlere de dönüşebilmektedir [6,7]. Hubbard ve diğ. iç ortamda terpen kaynağı bulunduğu durumda ozon üreten hava temizleme cihazı kullanıldığı durumda iç ortamdaki ince partikül madde miktarının arttığını tespit etmiştir [8]. İç ortam özelliği (ortamda kullanılan duvar ve yüzey kaplama malzeme türü, hava karışım oranı vb.), emisyon kaynağının etkinliği, ozon ile reaksiyona girecek bileşiklerin türü, bulunma miktarı gibi etmenler, ozon reaksiyonuna bağlı yan ürünlerin oluşmasında etkili olmaktadır.

İç ortamda tropikal bitki yetiştirilerek hava kalitesi iyileşmesinin sağlanabileceğine yönelik çalışmalar literatürde yer almaktadır [21]. Bu türden bitkiler ile iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi çalışmalarında ortamdaki nem seviyesinin arttığı ve ortama mikroorganizma salındığına yönelik sonuçlar içeren çalışmalar rapor edilmiştir [19,20].

Ortam havasını alıp, yukarıda bahsedilen türden bir arıtma teknolojisi ile arıttıktan sonra ortama geri veren portatif hava temizleyicileri de piyasa da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar genel olarak küçük partiküllerin gideriminde orta veya yüksek giderim etkinliğine sahip olmakta, polen, toz akarları veya böcek alerjenleri gibi daha kaba partiküllerin gideriminde yeterli etkinliğe sahip olmamaktadırlar.

**Tablo 1.** Farklı türdeki iç ortam hava temizleyicileri, fiyat aralığı, işletme ve bakım maliyetleri

Hava Temizleyicileri	Kirletici Türü	Kısıtlar	Fiyat aralığı	İşletme ve Bakım Gereksinimi
<b>Filtreler</b>				
Mekanik Hava Filtreleri	toz, polen, bazı mantar sporları, hayvan tüyü, toz akarları, hamamböceği alerjenleri	Tozlar, filtre tarafından tutulmadan çökeldiklerinden, kaba toz giderim verimleri düşüktür. İşletme maliyeti yüksektir.	HEPA Filtre içeren sistemler: kullanılabilir alan büyüklüğüne bağlı olarak 200\$ - 3000\$	Kullanım sıklığını bağlı olarak yaklaşık 3-6 ayda bir filtre değişimi gereksinimi: yıllık yaklaşık filtre maliyeti: 200-400\$
Elektronik Hava Filtreleri	Toz, polen, bazı mantar sporları	İyi havalandırılmayan kapalı ortamlarda yüksek seviyede ozon oluşumu görülebilir. Oda parfümleri ve/veya temizlik malzemesi kullanımı sırasında formaldehit gibi kanserojen UOB oluşumuna neden olabilmektedir.	Elektrostatik yıkayıcı sistemler: 300-900\$ İyon jeneratörleri, iyonizerler: 300- 1000\$	Partiküllerin toplandığı plakaların temizliği zordur, ancak plaka değişimi gerekmemektedir.
Gaz Fazı Filtreler	Sigara dumanı, soba dumanı, yemek kokusu, yapı malzemeleri, mobilyalardan kaynaklanan UOB giderimi	Gaz fazı kirletici türüne göre farklı sorbent kullanımı gerektirir, kullanılan sorbentlerin hızla tıkanmasına bağlı uzun süreli kullanımları sınırlıdır.	Karbon Filtre içeren sistemler: 350-1100\$	3-6 ayda bir karbon filtre değişimi: yıllık karbon filtre maliyeti, 100\$
<b>Diğer Kirletici Giderim Teknolojileri</b>				
Ultraviyole temizleyiciler (UV)	Biyolojik kirleticiler	Hastaneler gibi ortam havasından bakteri, virüs, mantar gibi hastalık yapıcı ajanların giderimi için kullanılır. Havayı dezenfekte eder ancak temizlemez. Ultraviyole ışığa dayanıklı bakteri ve mantar sporlarının tamamen ölmesi uzun zaman alabilir.	UV lamba veya LCD ışığı kaynağı olan cihazlar: 50-250\$ UV-TiO2/nanoteknoloji UV-C : 500-700\$	Yıllık olarak UV lamba değişimi: 10-30\$
Fotokatalitik oksidasyon sistemleri (PCO)	Gaz fazı kirleticiler (UOB, formaldehit, amonyak, H2S)	İç ortamdan kaynaklanan gaz fazı kirleticilerini yüksek verimle okside edebilen katalist sınırlı olduğundan evlerde kullanımı sınırlıdır.	PCO temizleyicileri: 100-2000\$	
Ozon jeneratörleri	Biyolojik kirleticiler, partikül ve gaz kirleticileri	İç ortamda kirlilik giderimi amaçlı kullanımı insan sağlığına zararlı ozon oluşturması nedeniyle güvenilir değildir. Endüstriyel ölçekte kullanımı ve insansız ortamlarda kullanımı yaygındır. Pek çok ülkede evlerde kullanımı yasal olarak yasaklanmıştır.	Ozon hava temizleyicileri: 50-100\$	

Hava temizleme cihazlarının ortam havasındaki verimliliklerinin laboratuvar ortamında test edilmesi için geliştirilen standartlar ASHRAE Standart 52.2, EN 779, ISO 10121-2, ISO 16890 ve ASHRAE Standart 145.2'dir. Bu standartlar, hava filtrelerinin etkinliklerinin belirlenmesinden daha çok farklı türdeki filtrelerin performanslarının kıyaslanmasında kullanılmaktadır. Partiküllerin giderimi için geliştirilen filtre teknolojilerinin minimum etkinlik rapor değerleri (MERV) Tablo 2'de özetlenmektedir. Bu tabloya göre, hangi türden filtreye gereksinim duyulacağı belirlenebilir. İlaç sanayi veya elektronik endüstrisinde MERV değeri 17'nin üstünde olan filtre kullanılması gerekirken, evlerde kullanılabilecek hava filtrelerinin MERV değerinin 5-8 düzeyinde olması yeterli olabilecektir.

**Tablo 2.** Farklı Hava Filtrelerinin Minimum Etkinlik Raporlama Değerleri (MERV)

ASHRAE Standart 52.2				EN 779:2012		Uygulama Alanı		
MERV	Partikül Çapı giderim etkinliği			Ortalama 0.4 µm partikül giderim verimi		Partikül çapı ve kirlenme türü	Uygulama Alanı	Hava Filtresi Türü
	0.3 – 1 µm	1 – 3 µm	3 – 10 µm	Sınıf	% Ort Verim (Min)			
20	≥ 99.999					<b>&lt; 0.3 µm</b> Virüs Karbon tozu Deniz tuzu Tüm yanma dumanı	Elektronik endüstrisi İlaç sanayi	HPA/ULPPA Filtreleri
19	≥ 99.999							
18	≥ 99.99							
17	≥ 99.97							
16	>95	>95	>95			<b>0.3-1 µm</b> Tüm bakteriler Hapşırık damlası Yağ pişirme damlası Tüm dumanlar Böcek öldürücü tozu Pudra tozu Boya pigmentleri	Büyük ticari binalarda Hastanelerin hasta bakım ünitelerinde Ameliyathanelerde	Torba filtre-mikroince fiberglas veya sentetik fiber. Kutu filtre – kartuşlu filtre
15	85–95	>90	>90	F9	95≤Em(70)			
14	75-85	>90	>90	F8	90≤Em≤95 (55)			
13	<75	>90	>90	F7	80≤Em≤90 (35)			
12	-	>80	>90	M6	60≤Em≤80	<b>1- 3 µm</b> Lejyonella Nemlendirici –tozu Kurşun tozu Un Egzoz partikülleri Nebülizer damlası	Rezidanslarda Ticari binalarda Hastanelerin laboratuvarlarında	Pillili filtre-pamuk veya polyester medyum ile yüzey alanı artırılmış filtre Kutu filtre-kartuşlu filtre
11	-	65-80	>85	M6	60≤Em≤80			
10	-	50-65	>85	M5	40≤Em≤60			
9	-	<50	>85	M5	40≤Em≤60			
8	-	-	>70	G4		<b>3-10 µm</b> Mantar sporları Ev tozu akarları, vücut deri döküntüleri Kedi, köpek tüyü Saç spreyi Süt tozu	Evlerde Ticari binalarda Sanayi ve iş yerlerinde	Pillili filtre-pamuk veya polyester medyum ile yüzey alanı artırılmış filtre Kutu filtre-kartuşlu filtre Kullan-at-sentetik filtre materyali
7	-	-	50-70	G3				
6	-	-	35-50	G2				
5	-	-	20-35	G1				
4	-	-	<20			<b>&gt;10µm</b> Polen Toz akarları Böcek parçaları Metal tozu Sprey boya tozu Tekstil fiberleri Halı tozu	En düşük filtrasyon üniteleri Pencere tipi hava iklimlendiricileri	Kullan-at- 1in kalınlığında fiberglas veya sentetik malzeme panelleri Yıkabilir-Alüminyum elekli, köpük panel Elektrostatik-polikarbonat panel
3	-	-	<20					
2	-	-	<20					
1	-	-	<20					

ISO 16890 test metodu, 30 Haziran 2018'den itibaren filtrelerin minimum giderim verimine göre sınıflama yapan EN 779'un yerine geçecektir. Bu yeni metot, DSÖ ve ulusal/uluslararası hava kalitesi sınıflandırmasında baz alınan PM1, PM2.5 ve PM10 partikül sınıfları bazında filtre verimliliğini tespit etmeye yönelik tüm dünyada kullanılabilecek standart bir yaklaşım göstermektedir. Kullanılan ölçüm metot ve değerlendirme farklılıklarından ötürü EN 779 ile ISO 16890 arasında birebir bir kıyaslama söz konusu olmamakla birlikte yaklaşık olarak Tablo 3'de verildiği şekilde karşılaştırılabilir.

**Tablo 3.** EN 779 ve ISO 16890 test metotları karşılaştırılması

Sınıf	ISO ePM1	ISO ePM2.5	ISO ePM10	ISO Coarse
G3	-	-	-	>80%
G4	-	-	-	>90%
M5	-	-	>50%	-
M6	-	50-65%	>60%	-
F7	50-65%	65-80%	>85%	-
F8	65-80%	>80%	>90%	-
F9	>80%	>95%	>95%	-

#### 4. GELECEĞİN HAVA TEMİZLEME CİHAZLARI

Hava temizleme cihaz teknolojisinde geliştirilmeye çalışılan en önemli bileşen, filtrelerdir. Günümüzde hava filtreleri, konut ve ticari HVAC sistemlerinin kalitesiz bileşenidir. Filtrasyon, iç ortamda özellikle partikül ve biyoaerosollerin giderimine katkıda bulunarak ortam hava kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmakta, tozun HVAC ekipmanına bulaşmasını ve potansiyel olarak HVAC sisteminin zarar görmesini önlemektedir. Hâlihazırda geliştirilmesine yönelik çalışmaların sürdürüldüğü filtre türleri, antimikrobiyal filtre sistemleri ile daha uzun süreli kullanımı söz konusu olabilecek filtre materyali geliştirilmesine yöneliktir.

İç ortamda önemli sağlık sorunlarına yol açan virüs, bakteri, mantar gibi biyolojik partiküllerin ortam havasından uzaklaştırılmasında antimikrobiyal filtrelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Geliştirilen antimikrobiyal filtre sistemleri kısa süreli test odaları koşullarında çarpıcı sonuçlar doğurmakta, ancak gerçek dünyadaki uygulamalarda sadece marjinal olarak iyi çalıştıkları gözlenmektedir. Gelecekte, uzun ömürlü yüksek etkinliğe sahip mikroorganizma öldürücü filtrelerin geliştirileceği söylenebilir.

İç ortam hava kalitesi iyileştirme için kullanılan hava filtrelerinin 1-3 ay gibi süre ile değiştirilmesi gereklidir. Filtrelerin değiştirilme ihtiyacı, hem kullanıcı maliyetini artırmakta, hem de gerekli sürelerde filtrelerin değiştirilmemesine bağlı olarak filtrelerden kaynaklanan emisyonlar ile hava temizleme cihazlarının iç ortam havasını kirletmesine neden olabilmektedir. Kendi kendini temizleyebilen filtre sistemleri üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir, gelecekte temizleme fırınlarına sahip olan sistemler gibi filtre temizliğinin otomatik olarak yapılmasının mümkün olduğu sistemler geliştirilebilecektir.

Günümüzde HEPA filtrelerinin Minimum Etkinlik Raporlama Değeri (MERV) ölçüğü, 17 ila 20 arasında değişmektedir. 0.3 µm'den küçük çaplı parçacıkların %99.999'undan daha fazlasını tutabilen bir filtrenin geliştirilmesini hayal etmek zor görünebilir, ancak bu özellikler bile şu an radyoaktif veya kanserojen materyallerin bulunduğu binalar için yeterlidir. MERV ölçüğü daha büyük bir filtrenin geliştirilmesi ve yaygın olarak kullanımının gelecekte nasıl bir ilave fayda sağlayabileceği tartışma konusu olarak literatürde yer almaktadır.

Son zamanlarda NASA'nın uzay araştırmaları için geliştirdiği filtresiz hava temizleme sistemlerinin gelecekte tüm ticari ve evlerde tercih edilebileceği düşünülmektedir. NASA tarafından geliştirilen Airocide teknoloji cihazı, içerdiği güçlü katalizör ile HEPA filtrelerinden bile daha verimli şekilde ince



partiküllerin tutulabildiği, filtre içermeyen, yalnızca yılda 1 defa reaksiyon kit değişimi gerektiren türdeki cihazların sektörde gözlenebilecek örneklerinden biridir.

Aktif hava temizleme cihazlarının yanı sıra, iç ortamda kullanılan yapı malzemeleri, yer ve duvar kaplamaları ile ortam havasının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da yürütülmektedir. Örnek olarak tekstil endüstrisi, nanoyapılı fiber ile dokunmuş kumaşları ile kirletici moleküllerin kumaş dokusu içine hapsolmesini sağlayarak ortamdaki kirleticilerin kumaş yüzeylerden tutulmasını sağlayacak teknolojik gelişmelere yönelik çalışmalar yürütülmektedir [5]. Bazı boya üreticileri, geliştirdikleri boyalar ile ortam havasında bulunan formaldehit gibi bazı UOB'lerin boya yüzeyine absorplanması ile ortam havasını iyileştirdiklerini bildirmektedirler [24].

## 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her ne kadar, iç ortam hava kalitesi iyileştirmeye yönelik pek çok çalışmaya literatürde rastlanıyor olsa da, hala araştırmaya gereksinim duyulan alanlar mevcuttur. Öncelikle, hava temizleme cihazlarının performans testlerinin kısa süreli daha çok laboratuvarında kontrollü test odalarında yapılan çalışmalara dayalı olduğu gözlenmektedir. Hava temizleme cihazlarının dinamik özelliklerini ve uzun süreli performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, çalışmaların gerçek ortam koşullarında uzun süreli deneylerle ortaya konulması, ortam havasında gözlenen değişimlerin hedef kirletici gideriminin yanı sıra neden olabileceği ikincil kirletici parametrelerini de içeri alacak şekilde genişletilerek yürütülmesinin sağlanması gereklidir. Bu türden iyi kurgulanmış bir araştırma, hava temizleme cihazlarının performanslarını uzun süreli inceleme ile daha gerçeğe yakın olarak ortaya koyabilecek, neden olabilecek hava iyileştirme etkinlikleri ile ortaya çıkabilecek ikincil kirletici potansiyeli hakkında daha net bir resim gösterebilecektir. Bu veriler, hava temizleme cihazlarının teknolojisindeki gelişmelere de ışık tutabilecektir.

İç ortamda hava temizleme cihazlarının kullanımındaki en büyük etmen insan sağlığının iyileştirilmesidir. Ancak, insan sağlığı ve hava temizleme cihazları kullanımına yönelik çalışmalar literatürde son derece sınırlı sayıdadır [4]. Hava temizleme cihazlarının insan sağlığı üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar çoğunlukla partikül giderimine yönelik olarak tespitleri içermekte, diğer türden hava temizleme cihazlarının sağlık etkileşimine yönelik veri bulunmamaktadır [4]. Bu türden farklı hava temizleme cihazlarının iç ortamda kullanılması sırasında gözlenebilecek olan kısa ve uzun süreli sağlık etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar, sağlık sorunlarının giderimine yönelik olarak cihaz seçiminde topluma yol gösterici olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] CHRISTIANSON, "Fatal Airs: The Deadly History and Apocalyptic Future of Lethal Gases that Threaten Our World". ABC-CLIO, 2010.
- [2] Women in the US Military – History of Gas Masks". Chnm.gmu.edu. 2001-09-11. Erişim tarihi: 2017-01-18.
- [3] Weshler, C. J. 2006. Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 114, No 10, pp. 1489-1496.
- [4] Sublett J.L. Effectiveness of air filters and air cleaners in allergic respiratory diseases: A review of the recent literature. *Curr Allergy Asthma Rep*. 2011;11:395–402
- [5] Boyle, R., "in the future, your clothes will clean the air, generate power and save your life the cutting edge of textile tech", 2011, <http://www.popsci.com/technology/article/2011-05/future-your-clothes-will-clean-air-generate-power-and-save-your-life>.
- [6] Ozone Generators that are sold as air cleaners: An assessment of effectiveness and health consequences. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html>
- [7] Shaughnessy, R.J., and Sextro, R.G. 2006. What Is an Effective Portable Air-Cleaning Device? A Review. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. Vol. 3, pp. 169-181.
- [8] Hubbard, H.F., Coleman, B.K., Sarwar, G. And Corsi, R.I., Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings, *Indoor Air*, 15, 432-444, 2005.



- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Waring, M.S., and J.A. Siegel, The effect of an indoor air quality in a residential room, *Indoor Air*, 21, 267-276, 2011
- [12] Bekö, G., G. Clausen, C.J. Weschler, Sensory pollution from bag filters, carbon filters and combinations, *Indoor Air*, 18, 27-36, 2008.
- [13] Hyttinen, M., P. Pasanen, M. Bjorkroth, P. Kalliokoski, Odors and volatile organic compounds released from ventilation filters, *Atmos. Environ.*, 41, 4029-4039, 2007.
- [14] Lin, C.C., and H.Y.Chen, Impact of HVAC filter on indoor air quality in terms of ozone removal and carbonyls generation, *Atmos. Environ.*, 89, 29-34, 2014.
- [15] Zhao, P., J.A. Siegel, R.L. Corsi, Ozone removal by HVAC filters, *Atmos. Environ.*, 41, 3151-3160, 2007.
- [16] Bekö, G., M.O. Fadeyi, G. Clausen, C.J. Weschler, Sensory pollution from bag-type fiberglass ventilation filters: conventional filter compared with filters containing various amounts of activated carbon, *Build. Environ.*, 44, 2114-2120, 2009.
- [17] 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.
- [18] Sidheswaran, M., W. Chen, A. Chang, R. Miller, S. Cohn, D. Sullivan, W.J. Fisk, K. Kumagai, H. Destailats, Formaldehyde emissions from ventilation filters under different relative humidity conditions, *Environ. Sci. Technol.*, 47, 5336-5343, 2013.
- [19] Darlington, A., M. Chan, D. Malloch, C. Pilger, M.A. Dixon, The biofiltration of indoor air: implications for air quality, *Indoor Air*, 10, 39-46, 2000.
- [20] Wang, Z., and J.S. Zhang, Characterization and performance evaluation of a full-scale activated carbon-based dynamic botanical air filtration system for improving indoor air quality, *Build. Environ.*, 46, 758-768, 2011.
- [21] Girman, J., Phillips, T., H. Levin, Critical Review: How Well Do House Plants Perform as Indoor Air Cleaners?, *Proceedings of Healthy Buildings 2009*.
- [22] Farhanian, D., and F. Haghghat, Photocatalytic oxidation air cleaner: identification and quantification of by-products, *Build. Environ.*, 72, 34-43, 2014.
- [23] Chen H.L., H.M. Lee, S.H. Chen, M.B. Chang, S.J. Yu, S.N. Li, 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, *Environ. Sci. Technol.*, 43, 2216-2227, 2009
- [24] Clean Air Technology, Air Pure Paints, <http://www.greenbuildingsupply.com/core/media/media.nl?id=404869&c=772072&h=37a7a1dd4a5f994f03ba&xt=.pdf>, Erişim Tarihi: 20.01.2017

## ÖZGEÇMİŞ

### 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, İç 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 İklim Değişikliği konularında yüksek lisans ve doktora dersleri vermektedir.