




Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Tıbbi Ortamlarda Kullanılan Portatif Hava Temizleme Sistemi

 Yiğit Ali ÜNCÜ^a,  Onur KOÇAK^{b,*}

^a *Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE*

^b *Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: okocak@baskent.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.946520

Öz

Toplum içerisinde ortak kullanıma açık alanlarda hava kalitesinin korunması sağlık açısından önemlidir ve güncel bir problemdir. Bu problem, havalandırmanın yetersiz olduğu birçok ortak kullanım alanı ile birlikte büyük veya küçük sağlık hizmeti veren kuruluşlarda kendini sıklıkla salgın hastalıklarla ya da yaşanan ölümler ile göstermektedir. Bu problemin önüne geçilebilmesi için bu zamana kadar atılan adımlar yetersiz kalabilmektedir. Çalışma kapsamında, partikül tutucu filtreler, UV lambalar kullanılarak, küçük ve taşınabilir, medikal seviyede hava kalitesi sağlayan bir hava temizleme sistemin tasarlanmıştır. Bu sistem EN ISO 14644-1 temiz oda standartlarına uygun olacak şekilde UV-C teknolojisinden yararlanılarak tasarlanmıştır. Bu cihaz, sağlık kuruluşlarındaki toplu taşıma araçları, bekleme ve yoğun bakım odaları, mikrobiyoloji ve biyokimya laboratuvarları gibi yerlerde kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, İç hava kirliliği, Partikül madde, Hava temizleme sistemleri

Portable Air Purification System Used in Medical Environments

ABSTRACT

The protection of air quality in public areas in the community is important for health and is a current problem. This problem often manifests itself with epidemic diseases or deaths in large or small healthcare institutions, along with many common areas where ventilation is insufficient. The steps taken so far are insufficient to prevent this problem. In the study, a small and portable air purification system was designed using particulate filters and UV lamps, providing medical-grade air quality. This system has been designed in accordance with EN ISO 14644-1 cleanroom standards using UV-C technology. This device can be used in health institutions such as public transportation vehicles, intensive care waiting rooms, microbiology, and biochemistry laboratories.

Keywords: Indoor air quality, Indoor air pollution, Particular matter, Air purification systems

I. GİRİŞ

Tedavi süreçlerinde sıklıkla maruz kalınan hastane mikrobu ve ameliyathane mikropları (virüs, bakteri vb.) hastalara kalıcı hasarlar verebilmekte hatta ölümlerine sebep olabilmektedir. Bu tip istenmeyen durumların oluşmaması için sağlık hizmeti verilen alanların zemin dezenfeksiyonu ve sterilizasyonu kadar hava ortamlarının da sterilize edilmesi, her türlü bakteriden ve canlı organizmadan arındırılmış olması gerekmektedir [1]-[7]. Tıbbi alan zeminleri antiseptik ve dezenfeksiyon malzemeleri ile temizlenmektedir. Fakat ameliyathaneler dışında hava filtreleme, temizleme ve sterilizasyon uygulamaları yaygın değildir. Klimalar ve merkezi havalandırma üniteleri hava sterilizasyonu uygulamalarında yetersiz kalmaktadır. Tüm tıbbi alanlara yeterli sterilizasyon altyapısı kazandırmak ekonomik olarak da sürdürülebilir değildir [8]. Günümüzde bu sebep ile birden fazla hava temizleme sistemi tasarlanmıştır ve bunlar kullanımı ev tipi olmakla beraber medikal seviyede bulunmayan birbirlerine benzeyen sistemlerdir. Bu çalışmada tasarlanan prototip; filtreler, motor ve hava temizleme sisteminden (UV-C radyasyonu) oluşan ve medikal düzeyde taşınabilir hava temizleme sistemi için gerekli koşulları sağlayan portatif medikal bir sistemdir. Bu sistem sayesinde sadece sağlık kuruluşlarına yönelik değil, toplumun birçok noktasında temiz havaya ulaşılacak istenmiştir.

Emily ve arkadaşları yaptıkları çalışmada portatif hava temizleyicilerin kapalı alanlardaki hava kalitesi ve sağlık üzerindeki etkilerini incelemek için sistematik bir literatür çalışması yapmışlardır [9]. Miao ve arkadaşları çalışmalarında Çin'de bulunan bir yaşlı bakım evinde hava temizleme cihazının yaşlıların sağlıkları üzerindeki etkilerini incelemiştir [10]. Maria ve arkadaşları çalışmalarında hava temizleme cihazlarını SARS-CoV-2 virüsüne sahip pozitif vakaların bulunduğu ev ortamlarında deneyerek hastalığın üzerindeki etkilerini incelemiştir [11]. Elizabeth ve arkadaşları hava temizleme cihazlarının kapalı alanlardaki etkilerini gözlemiştir ve en iyi sonuca ulaştıracak doğru yöntemler üzerine çalışmalar yapmıştır [12]. Tengfei ve arkadaşları çalışmalarında kapalı ortamlarda bulunan hava temizleme cihazının konumunun temizleme kalitesine olan etkilerini araştırmıştır [13]. Jingjing ve arkadaşları çalışmalarında sigara dumanı kullanarak yaptıkları duman testinde hava temizleme cihazının çalışma verimine ve filtrelerin ömründeki değişime dikkat çekmişlerdir [14]. Jiao Cai ve arkadaşları çalışmalarında Çin'de bulunan 20 şehir yerleşkesinde hava temizleme cihazlarını test etmiş ve bu sistemin bu tür yerler için olumlu ama dünya genelinde kirlilik için yetersiz olduğu sonucuna ulaşmıştır [15]. Angus Shiue ve arkadaşları yaptıkları çalışmada hava temizleme cihazının belirli standartlara göre verimliliğini test etmiştir [16].

Medikal düzeyde hava temizleme sistemlerinde dört ana nokta bulunmaktadır. Bunların ilki, medikal seviyenin en önemli göstergesi olan EN ISO 14644-1 standardıyla ilgilidir. Bu standartta, belli metreküp içerisinde asgari partikül seviyeleri belirtilmektedir. Çalışmada, medikal seviye sterilizasyon gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden; temiz oda standardının sağlanması gerekmektedir. Tıbbi alan içerisinde, hava giriş çıkışı olmadığından ISO-6 temiz oda standardının sağlanabilmesi için; havanın saatte en az altı kez çevrilmesi yeterli olmaktadır. Hava giriş çıkışının sabit tutulmadığı alanlarda ise bu çevrim, saatte en az 20 olmalıdır. Bu nedenle taşınabilirlik medikal hava temizleme sistemleri için saatte 20 çevrim hedef alınarak, motor ve filtre ölçüleri belirlenmiştir [17], [18]. İkincisi bu cihazlarda kullanılan filtre tipleridir. Günümüzde kullanılan üç farklı filtre vardır. Bunlar; kaset, aktif karbon ve HEPA (Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı) filtrelerdir. Bu filtrelerin kendi içlerinde farklı sınıfları mevcuttur. Kaset filtreler büyük partikülleri tutarak, arkasına konulan daha hassas filtrelerin yükünü hafifletir. Aktif karbon filtreler ortamdaki kötü ve zehirli gazları emer. HEPA filtreler ise 0,3 µm boyutundaki partikülleri tutarak hassas filtre görevini üstlenir [19]. Üçüncüsü hava temizleme cihazlarında kullanılacak olan motorun seçimidir. Cihazın medikal düzeyde çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken parametreler; debi, ağırlık, tür ve basınç-debi eğrisidir. Bu parametreler dikkate alarak kademeli fan dönüş hızlarına sabit olması sebebiyle de çalışmada EC (Electronically Commutated) motor tercih edilmiştir. Sonuncusu ise hava temizleme işleminin yerine getirilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Temizleme işlemi negatif iyon teknolojisi, yüksek kalite filtrelerin kullanımı ve UV-C radyasyonu kullanımı gibi birçok farklı şekilde sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu işlem iki farklı sistem altında yürütülmektedir. Bu iki sistem medikal seviye iklimlendirme sistemi ve klasik iklimlendirme sistemidir. Medikal seviye iklimlendirme sistemi, klasik iklimlendirme sisteminden

farklı olarak nem ve sıcaklık parametreleri dışında canlı ve cansız olarak kirleticiler, taze hava, egzoz havası, hava akış yönleri ve basıncı gibi risk parametrelerini de dikkate alır [17]. Hava temizleme sistemleri filtrasyon, absorpsiyon, foto katalitik oksidasyon, negatif hava iyonları, termal olmayan plazma olmak üzere beş ana başlıkta incelenebilir [19]. Filtrasyon sıralaması genelde; kaba filtreden, daha hassas filtreye doğru yapılır. Bu özellik sayesinde kaba filtre ilk olarak büyük tanecik çapına sahip partiküllerin geçişini engeller. Daha sonra daha hassas olan diğer filtreler kademe kademe partikül geçişini engelleyerek daha hassas filtrenin ömrü uzatılır. Absorpsiyon filtrelerinde HEPA filtreler ve ozon ile absorpsiyon yapılmaktadır. Absorpsiyon filtreleri; gaz moleküllerini yakalar ve tutarlar. Ozon tipi filtrasyon, ozon gazının kararsızlığı ve sağlığa olumsuz etkisi olduğu için medikal amaçlı kullanımlarda tercih edilmemektedir [20], [21].

Günümüzde, karşılaşılan salgınlar lokal (bir hastalık patlaması) olarak, genel (epidemik) olarak ve dünya çapında (pandemik) olmak üzere görülebilir. Dünyada da etkili olan pandemi (Covid-19) ile mücadeleye destek olmak, sosyal, kültürel ve ekonomik hayatın normale dönmesine katkı sağlamak amacıyla hava temizleme cihazlarının üretilmesi önemli hale gelmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan yerli hava temizleme cihazının içerisinde; UV lamba, HEPA filtre, aktif karbon filtre ve kaba filtre ile temizlenen hava, sağlığa zararlı gazlardan, mikroorganizmalardan, toz ve partiküllerden ayrıştırılarak kapalı ortamlardaki havanın medikal seviye sterilizasyonu sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; pandemik koşullar dolayısıyla, kapalı alanlarda veya sağlık kuruluşlarında/hastanelerde oluşabilecek enfeksiyonların önlenmesi, bununla beraber enfeksiyonların sebep olduğu ölümlerinde önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

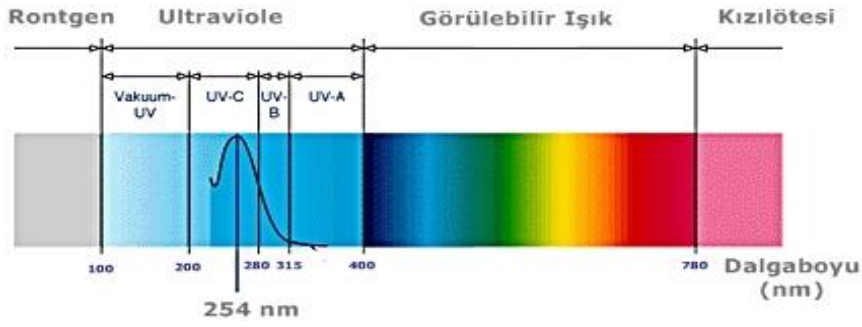
Tasarlanan hava temizleme cihazında kaset, aktif karbon ve HEPA olmak üzere üç farklı filtre kullanılmıştır. HEPA filtre, TS EN 1822-1 (Yüksek verimli hava filtreleri- Bölüm 1: Sınıflandırma, performans testi, işaretleme) standardına, aktif karbon filtre TS EN 779 (Genel havalandırma için partikül hava filtreleri - Filtrasyon performansının belirlenmesi) standardına göre tasarlanıp, medikal seviyede ki debi değeri hedefine ulaşmak için gerekli filtre ebatları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre 1200 m³/s 'lik debiyi sağlayan motor, tasarıma dahil edilmiştir. Farklı debi değerlerine göre motor performansı ve üretilen ses düzeyi (dB değeri) test edilerek optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Filtre performansları duman testi ile ölçülmüş ve saatlik temizleme hedefine ulaşılmıştır. Bu çalışmada portatif bir hava temizleme cihazının tasarımı, üretimi ve performans denemeleri ortaya koyulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

UV-C radyasyonu, 200 nm ile 280 nm arasında olup, zararlı mikroorganizmaları (bakteri ve virüsler) etkisiz hale getirmektedir. Bunu mikroorganizmaların DNA'sının içindeki genetik kodlamayı yok ederek gerçekleştirmektedir. Bu sayede mikroorganizmaların üremeleri de engellenmiş olur. UV-C ışınlarının antiseptik özelliği sayesinde, kimyasallara karşı aşırı rezistansı bulunan parazitleri de yok etme kapasitesine sahiptirler [8]. Mikroorganizmalar, UV-C dalga boyunu (Şekil 1) kolaylıkla absorbe eden organik yapılardır. Bir mikrobun DNA'sı, zayıf moleküler bağlarından dolayı negatif olarak etkilenir. Kısa süre içerisinde DNA'da onarılmaz hasarlar meydana getirebilir. Bu durum mikrobun genetik yapısına zarar vererek mikrobun ölmesine ve/veya çoğalamamasına neden olur. Mikroorganizmalar, UV-C ışınlarına doğrudan maruz kalmalıdır. Mikroorganizmalar yansıyan UV-C ışınlardan da etkilenirler fakat bu durumda mikropların yok edilmesi daha da uzun sürer. UV-C ışınına maruz kaldıklarında küf ve bazı bakterilerde hızlı hücre ölümü gerçekleşmeyebilir. Etkisi olmayan halde olan mikroplarda bazı biyolojik aktiviteler olabilir ancak hücrelerde çoğalma olamadığından dolayı çoğalamayacak ve etkisiz hale geleceklerdir [10]. Havalandırma sistemlerindeki hava filtreleri, UV-C ışınlarıyla kıyaslandığında mikropları öldüremez. Hava filtreleri verimlilik oranlarına göre havada bulunan mikropların bir kısmını süzerek tutar. Ayrıca UV dezenfeksiyon sisteminin birlikte kullanımı, mikroplar için tutup ve öldür sistemi haline getirebilir.

UV-C ışınları, mikroplara etki edere yok etmek için bu mikropları saklayan toz parçacıkları gibi basit organik maddeleri de alt seviyelere indirger. Mikroplar tutunabilecek toz filtrelerden geçtiklerinde

ve/veya mikropları saklayan toz parçacıkları taşıyan hava içerisinde geçtikleri için dezenfeksiyon ampullerinden gelen UV-C ışınına maruz kalırlar. Bulaşıcı hastalık riskinin olduğu durumlarda ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 'nin belirlediği %85 verimlilikteki veya daha üzerindeki filtrelerin kullanılması gerekmektedir [22]. Böylelikle en az oranda toz geçecektir. Kullanılan lambaların UV-C bandında (200-280 nm) olması, tasarlanan sistemde sadece filtreler ile değil UV-C ışınımına yardımcı ile de organik uçucuların etkisizleştirilmesine katkı sağlamaktadır. Kanat, çalışmasında UV-C ışınımının DNA tahribatı etkilerine detaylı olarak yer vermiştir [23]. Literatürde destekleyici birçok çalışma ayrıca yer almaktadır. Şekil 1'de UV-C bandının elektromanyetik spektrumunda ki konumu görülmektedir.



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrumda UV-C [23]

Hava temizleme sistemleri filtrasyon, absorpsiyon, foto katalitik oksidasyon, negatif hava iyonları, termal olmayan plazma olmak üzere beş ana başlıkta incelenebilir. Filtreleme, havada bulunan istenmeyen gaz, buhar ya da başka tanecikleri ayıran malzemelere filtre denilmektedir. Havalandırma sistemlerinde dış havadaki tanecikleri, toz ve benzeri istenmeyen cisimleri tutarak havalandırma cihazları girişlerinde gerekli ayrışmayı yapmak için besleme havalarındaki virüs ve bakterileri azaltmak amacıyla uygun filtreler kullanılır. Filtreler en az kaçığa izin vermeyecek şekilde üretilerek ihtiyaç olan hava kalitesine bağlı olarak çeşitli filtrelendirme sistemleri kullanılmaktadır [24].

Absorpsiyon filtreleri, HEPA filtreler ve ozon ile absorpsiyon yapılmaktadır. Absorpsiyon filtreleri; gaz moleküllerini yakalar ve tutarlar. Ozon tipi filtrasyon, ozon gazının kararsızlığı ve sağlığa olumsuz etkisi olduğu için medikal amaçlı kullanımlarda tercih edilmemektedir [24]. Foto katalitik oksidasyon, kullanılan foto katalizörler iç havada bulunan alkanlar, alkenler, alkoller, aromatikler, klorlu hidrokarbonlar, aldehytler ve ketonlar gibi birçok uçucu organik bileşikler (UOB) CO₂ ve H₂O gibi çok küçük moleküllere kadar parçalayabilirler. En yaygın foto katalizörler TiO₂ ve ZnO gibi yarı iletkenler ve UV ışınıdır. Tepkimeler sonucu hidroksil grubu oluşur ve OH- kirletici molekülleri okside eder ve çok etkili değildir [24]. Bu hava temizleme sistemi uygulaması literatürde farklı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Özellikle daha nitelikli dezenfeksiyon işlemleri için uygulanmaktadır [25]-[28].

Negatif hava iyonları, pozitif yüklü virüse yapışır çökmesini sağlar. Havada bulunan partiküller, pozitif iyonludur. Negatif iyonlar manyetik çekim ile negatif iyonlara çekilirler [24]. Goldstein ve arkadaşları ile Nagato ve arkadaşlarının çalışmaları farklı teknikler ile negatif iyon jeneratörü tasarımlarını ve uygulamalarını aktarmaktadır [29], [30]. Bahsedilen teknikler günümüzde iyon jeneratörlü sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Termal olmayan plazma, UOB, aerosol parçacıkları ve mikroplar gibi kirleticileri uzaklaştırma bilmektedirler. Fakat plazma sonucunda oluşan anorganik ve organik kimyasal türler çevreye yayılıp sağlık riski oluşturabilirler [24].

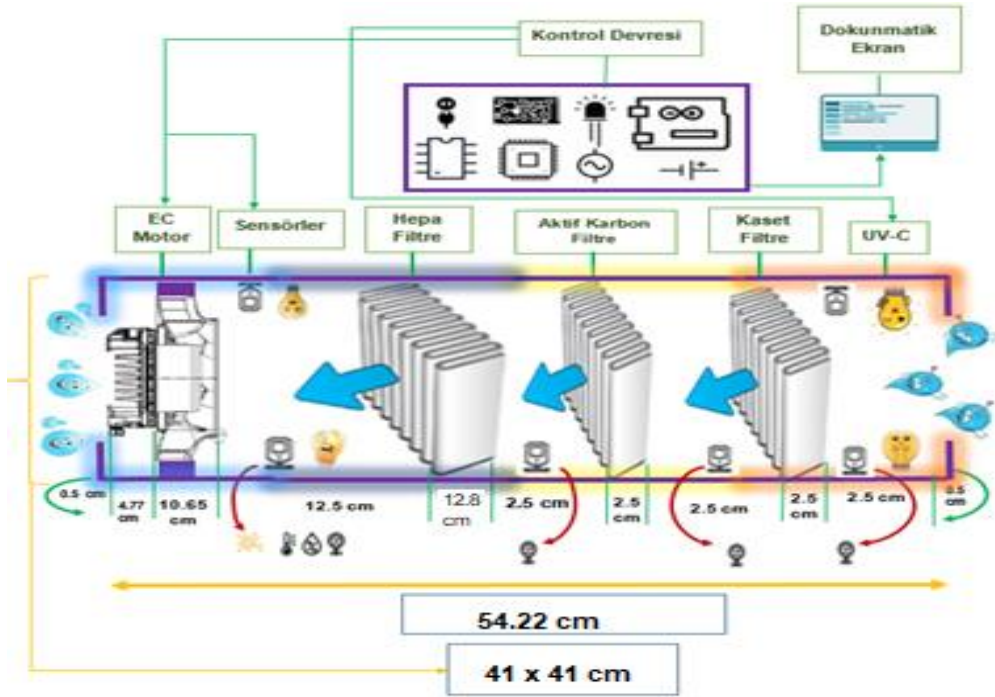
Sistemin ön tasarımı ele alınarak şasenin malzemesine karar verilmiş ve tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda cihaz içerisine konulacak malzemelerin bölme içi tasarımlarına ve genel tasarımlarına karar verilmiştir. Hava menfezlerinin tasarımı ele alınmıştır. Filtreler, UV-C lambalar ve motor şasede konumlandırılmıştır. Cihazın düşük ağırlığa sahip olması gerektiğinden şase yapımında alüminyum kullanılmıştır. Cihazın sanal tasarımı CATIA programında yapılmıştır (Şekil 2). Son adımı olarak

cihaz yalıtılmış ve kaplanmıştır. Bir problem olan gürültünün önüne geçilmesi ve aynı zamanda yalıtım maddesinin üstüne anti bakteriyel gözeneksiz malzeme konumlandırılması ile havanın temiz kalması sağlanmıştır.



Şekil 2. Cihaz CATIA çiziminin yandan ve arkadan görünümü

Şekil 3'te blok diyagramı verilen prototipte; çok sayıda elektronik bileşen olduğundan ve bu bileşenlerin bağlantı sayılarını karşılayabilen en uygun mikro denetleyici olan Arduino MEGA 2560 seçilmiştir. Çalışma içinde bulunan üç çok amaçlı sensör, dokunmatik ekran ve EC (Elektronik değişkenli motor) motorun kontrolü için uygun olan MEGA 2560, dört ayrı TX-RX (Asenkron seri haberleşme) portu, pwm modülü, I²C (entegre devre) modülü, 15 analog giriş ve 54 dijital girişe sahiptir. 16 MHz' lik osilatör ile çalışmada kullanılacak tüm bileşenleri kontrol edebilecek kapasitededir.

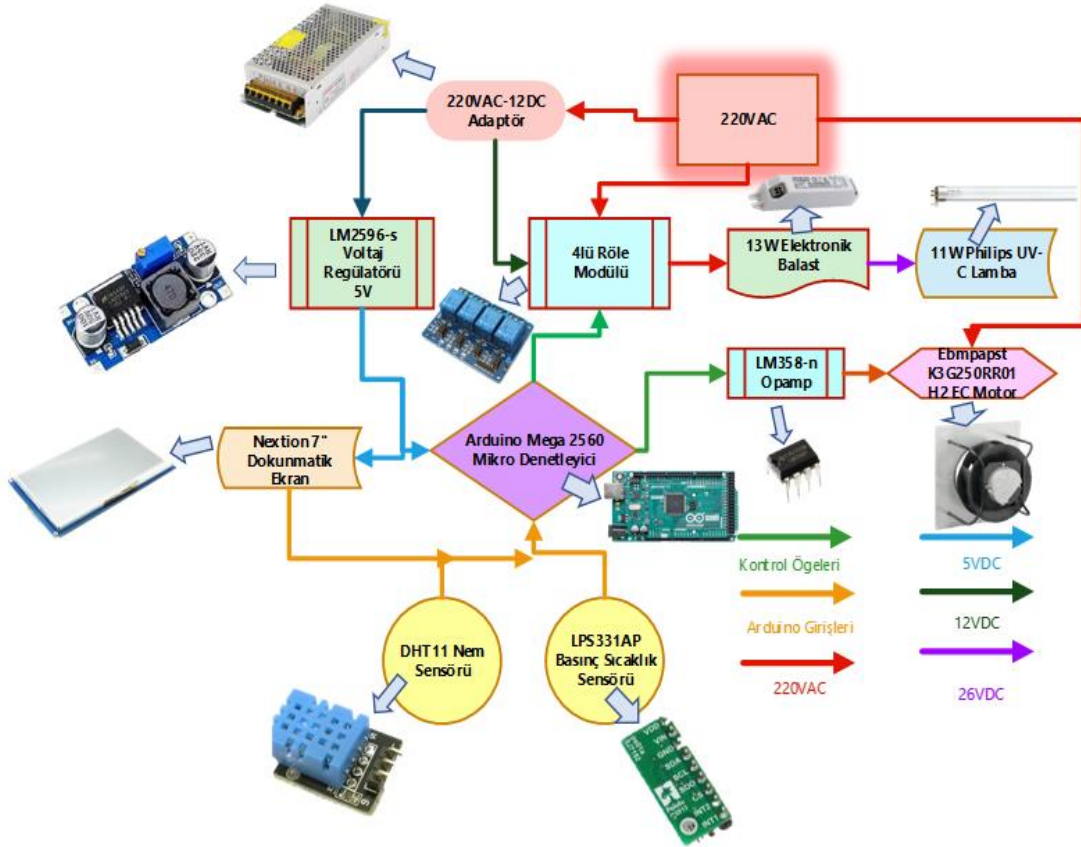


Şekil 3. Cihazın blok diyagramı

Sistemin ekranında Nextion 7" dokunmatik ekran kullanılmıştır. Röle ve adaptörün bağlantıları yapıp, diğer bileşenlere bağlanmaları için hazır hale getirilmiştir. NC modunda kullanılan röle yalnızca komut gönderildiğinde elektrik akışını sağlamaktadır. Sistemde 5V gerilimli gerekli akımı karşılayabilecek bir voltaj regülatörü gerekmektedir. Bunun sebebi; arduinonun kendi üzerinde bulunan voltaj regülatörünün, sistemdeki dokunmatik ekranın akım ihtiyacını karşılamasının imkansızlığıdır. Bu nedenle sisteme LM2596 voltaj regülatörü eklenmiştir. Bu sayede; rölelerin,

sensörlerin, dokunmatik ekranın ve arduinonun gerilim beslemesi sağlanmıştır. Bu voltaj regülatörü, sistemde hali hazırda bulunan 12 VDC voltaj regülatöründen gelen gerilimi 5 VDC şeklinde beslemesi sağlaması için üzerindeki ayar pininden ayarlanmıştır. UV-C ampullerin çalışmasını kararlı hale getirmek için elektronik balastlar alınmıştır. Ampuller 11W'lık olduğundan alınabilecek balastın minimum 13 W olması gerekmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda distribütörden gerekli balastların temini sağlanıp UV-C lambalara (Philips TUV 11W) bağlantısı yapılmış ve lambalar çalıştırılıp, sisteme montajı yapılmıştır. LPS331AP sensörü basınç ve sıcaklık sensörü olarak kullanılmıştır (Şekil 4).

DHT11 Nem sensörü ise cihaz çıkışına; temizlenen havanın nemini ölçmek için konumlandırılmıştır. Sistem çıkışının 0-5V olması ve motorun kontrol aralığı 0-10V olması sebebiyle, sistemdeki RC filtrenin sonrasına kazancı iki olan evirmeyen yükselteç (LM 358N) eklenmiştir. K3G250RR01H2 EC motorun kontrol edilmesi için arduinonun DAC portları kullanılmıştır. Ancak motorun hız kontrol aralığı (0-10VDC) olduğundan ve arduino maksimum 5V çıkış verebildiğinden dolayı; LM358N yükseltecinde, evirmeyen yükselteç modunda, kazancı 2 olacak şekilde devre kurulumu yapılmıştır. Şekil 5'te devrenin elektronik şeması görülmektedir.



Şekil 4. Cihazın elektronik şeması

Tasarlanan cihazın boyutları içten içe $47 \times 55 \times 55$ cm'den, içten içe $40 \times 40 \times 54$ cm'dir. Cihaz içerisinde rahat çalışılabilmek için cihaz yüksekliği 60 cm'e çıkartılmıştır. Yapılan bu cihaz boyut hesabının doğruluğunu test edebilmek için $40 \times 40 \times 60$ cm'lik bir şase yaptırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Cihazın şase, motor, filtreler, UV-C'lerin ve elektronik bileşenlerinin gösterimi

Tasarlanan sistemde, üç farklı filtre kullanılmıştır. Bunlar; kaset, aktif karbon ve HEPA filtrelerdir. Bu filtrelerin kendi içlerinde farklı sınıfları mevcuttur. Bu sınıflar da sistemin sağlayacağı temiz oda sınıfına, verimine ve basınç kaybına etki etmektedir. Bu süreçte atılan adımlardan biri olarak filtre boyutlandırılması yapılmıştır. Bunun sebebi projenin hedeflerinden biri olan taşınabilirlik için medikal düzeyde sağlanacak debi değerine yakın standart filtre boyutlarını kullanmak yerine hedefe ulaşmak için gerekli ebatlar iki adet formül kullanılarak hesaplanmıştır. Filtreler, model ve sınıflarına göre farklılık gösteren kağıtlardan yapılır. Kullanılacak kağıdın açık alanı belirlendikten sonra kağıt katlanır ve açık haldeki filtre kağıdının bir kere katlanması sonucu bir plise oluşur. Katlanmış haldeki kağıt, istenilen boyutlardaki çerçevenin içerisine konur ve filtrenin ebatları Eş.1 ile belirlenir.

$$\text{Derinlik (m)} = \frac{\text{Kağıt Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Katlama Sıklığı(m)}}{2 \times \text{Çerçeve Alanı (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Debi hesaplamak için kullanılan formül Eş. 2'de gösterilmiştir.

$$\text{Alan(m}^2\text{)} = \frac{\text{Debi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{\text{Hız} \left(\frac{\text{m}}{\text{sn}} \right) \times 3600 \left(\frac{\text{sn}}{\text{s}} \right)} \quad (2)$$

Uygulaması yapılan çalışmada en son olarak 1200 m³'lük debiye ulaşılmıştır. Bu sonuçta sistemin 60 m³'lük odada bir saatte 20 çevrimine eşittir. Filtre boyutlandırılmasının debide kayba sebep olmasından dolayı 1200 m³'e ulaşılması için belirlenen en yakın değer 1290 m³/s' dir. Sistem saatte 20 çevrim ile çalışacağından dolayı 1290 m³'lük debiye ulaşabilmesi için oda hacminin 64.5 m³'e eşit olması gerekmektedir. Bu sonuca Eş.3 ile ulaşılmıştır. Eş. 3'de Q (m³/ s) ortama verilen hava debisi, K hava değişim katsayısı (defa/saat= 1/s), V(m³) ise ortamın toplam hacmidir.

$$Q = K \times V \quad (3)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sağlık kuruluşlarında ortalama bir hasta odasının (yaklaşık 60 m³) medikal düzeyde hava çevriminin sağlanabilmesi hava değişim katsayısının 20 (1/s) olması gerekir. Eş.3'e göre ortama verilmesi gereken temiz hava debisi; ortamın temiz hava ihtiyacının karşılanabilmesi için en az 1200 m³/s debiyi sağlayan motor seçilmesi gerekmektedir. Motor seçiminde sadece debi göz önüne alınmamıştır ve farklı durumlarda değerlendirilmiştir. Bu sebeple EC motorlar kullanılmıştır. Bu motorların bir diğer faydası ise kademeli çalışarak farklı çalışma şekilleri sunabilmesidir. Sonuç olarak motor; birinci kademesi saatte 8, ikinci kademesi saatte 12, üçüncü kademesi saatte 18, dördüncü kademesi saatte 20 ve beşinci kademesi saatte 24 çevrimi yapabilecek şekilde, beş kademeli sistemle tasarlanmıştır.

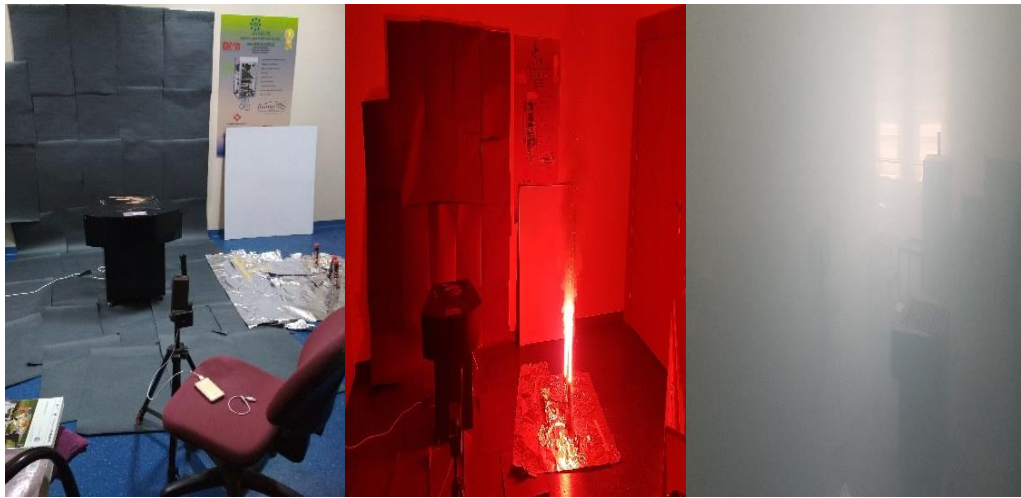
Tablo 1’de 8, 12, 18, 20 ve 24 çevrime göre ayarlanmış kademelerin; motorun bu çevrimleri sağlayabilmeleri için ayarlanması gereken ve filtre boyutlandırılmasından kaynaklı oluşan kayıp sonucu sistem çıkışında üretecekleri debi değerleri gösterilmiştir. Tabloda gösterilen oda hacmi; verim düşümü sonucu motorun, istenilen çevrimleri sağlayabilmesi için varsayım olarak kabul edilmiştir. Tabloda gösterilen sistem çıkış debileri, çalışmanın hedeflediği oda hacmi olan 60 m³’e bölüldüğünde, karşılık gelen çevrimleri sağladığı görülmektedir. Yapılacak desibel testinde; cihazın çıkışından ölçülen desibel (dB) değerleri, Tablo 1’de gösterilen sistem çıkış debisiyle kıyaslanmıştır.

Tablo 1. Kademe buton sisteminin parametreleri

Oda Hacmi (m ³)	Çevrim (1/s)	Motorun Ayarlanması Gerekten Debi (m ³ /s)	Motor Verimi (%)	Sistem Çıkış Debisi (m ³ /s)
64,5	24	1548	97	1501
64,5	20	1290	97	1251
64,5	18	1161	97	1126
64,5	12	774	97	750
64,5	8	516	97	500

1. Kademe butonla, sayısal kontrolle 4.96 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 500 m³/s debi elde etmektedir. 2. Kademe butonla, sayısal kontrolle 6.37 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 750 m³/s debi elde edilmektedir. 3. Kademe butonla, sayısal kontrolle 7.25 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1126 m³/s debi elde etmektedir. 4. Kademe butonla, sayısal kontrolle 8.30 V gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1251 m³/s debi elde etmektedir. 5. Kademe butonla, sayısal kontrolle 9.02 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1501 m³/s debi elde edilmektedir. Bu sayede kademelere göre desibel testi yapılarak, sisteme yapılan yalıtımın etkisi gözlenmiştir. Testler sonucunda kademelere göre azalmanın 3.5 dB ile 9 dB arasında seyrettiği görülmüştür.

Duman testinde hesaplamalar sonucu yapılan kademe sisteminin, uygulamada istenilen değerleri sağlayıp sağlamayacağını görmek için yapılmıştır. Ortamın dumanla kaplanması için duman kaynağı olarak meşale kullanılmıştır. Test sırasında duman ortamda yayılana kadar beklenmiş, daha sonra cihaz çalıştırılıp ortamdaki dumanın azalımı gözlenmiştir.



Şekil 6. Test düzeneğinin oluşturulması, meşalelerin yakılması ve dumana maruz bırakılan ortam

Yapılan duman testinde ilk olarak; yaklaşık 120 m³’lük odada 3 adet meşale yakılıp oda tamamen dumanla kaplanmış ve cihaz 4. Kademe olan saatte 20 çevrim butonuyla filtrasyon işlemine

başlatılmıştır. Çalışmanın hedefi; 60 m³'lük odayı 60 dakika, 20 çevrim ile temizleyebilmektir. Deneyin yapıldığı ortamın hacmi, hedeflenen hacmin yaklaşık 2 katı olduğundan, deney süresinin ters orantıdan yaklaşık 2 saat çıkması beklenmektedir (Şekil 6). Deneydeki filtreleme işlemi yaklaşık 90 dakika sürmüştür. Deney sırasında, ortam içerisine giren ve çıkan hava kontrollü olarak salınmak istenmiştir. Cihazı çalıştırma ve kontrol amaçlı ortam içerisine girişler en az düzeyde tutularak gerçekleştirilmiştir. Ancak ortamdaki sızdırmazlık tam olarak sağlanamamıştır. Oluşan bu kayıplardan dolayı cihazın 120 dakikada filtrelemesi gereken hava, yaklaşık 90 dakikada filtrelenmiştir. Cihaz; teorik ve deneysel hesaplamalarla bulunup ayarlanan çalışmanın hedefi olan 1200 m³/s'lik havayı, deneysel uygulama sonucu filtrelemeyi başarmıştır.

IV. SONUÇ

Dünya üzerinde önemini ve güncel bir problem olarak konumunu koruyan hava kirliliği yeterli adımların atılmaması sebebi ile her geçen gün etkisini arttırmaya devam etmektedir. Bu durum, sağlık kuruluşlarında ve toplum içerisinde ortak kullanım alanlarında yaşanan ölümlere ve salgın hastalıkların daha hızlı yayılmasına neden olur. Bu sebeple çalışmada bahsedilen probleme yönelik medikal düzeyde hava temizleyen, taşınabilir gerekli standartları karşılayan bir sistem çözüm olarak sunulmuş ve yerli ve milli olarak prototipi gerçekleştirilmiştir.

Cihaz sistemi içerisindeki UV lamba, HEPA filtre, aktif karbon filtre ve kaba filtre sayesinde hava, sağlığa zararlı gazlardan, mikroorganizmalardan, toz ve partiküllerden ayrıştırılıp; havanın medikal seviye sterilizasyonu sağlanmıştır. Böylelikle; pandemi koşullarında (Covid-19) oluşan kapalı ortamlarda ve/veya hastaneler gibi sağlık kuruluşlarında meydana gelen enfeksiyonların ve enfeksiyondan kaynaklı ölümlerin önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Seçilen motor sayesinde standart da uygun olarak saatte çevrimle çalışabilmektedir ve EC motorun bir getirisi olarak kademe seçeneği farklı alternatifler sunmaktadır.

Yapılan bu çalışma kategori olarak, uluslararası düzeyde yenilik kapsamına girmektedir. Bir ürünün medikal seviye olabilmesi için tasarım bileşenlerinin (elektronik ve hammadde vb.) medikal standartlara uygun üretilmiş ve belgeli olması, tasarımın en başından başlayarak tıbbi cihaz standartlarına uygun gerçekleştirilmesi, iç test ve ön muayene prosedürlerini tamamlamış olmalıdır. Tasarlanan bu ar&ge ürünü, ileride CE belgeli bir tıbbi cihaz olabilmesi ve medikal seviye hava temizleme yapılabilmesi için gerekli tasarım kriterleri planlanacak ve cihaz son haline getirilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı, 'Taşınabilir Medikal Seviye Hava Temizleme Sistemi' başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu projede emeği geçenlere teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

[1] P.S. Brachman, "Nosocomial infection control: an overview," *Reviews of Infectious Diseases*, vol. 3, no. 4, pp. 640-648, 1981.

[2] R.P. Wenzel, R.L. Thompson, S.M. Landry, B.S. Russell, P.J. Miller, S. Ponce de Leon, "Hospital-acquired infections in intensive care unit patients: an overview with emphasis on epidemics," *Infect Control*, vol. 4, no. 5, pp. 371-375, 1983.

[3] R.W. Haley, D.H. Culver, J.W. White, W.M. Morgan, T.G. Emori, "The nationwide nosocomial infection rate: a new need for vital statistics," *American Journal of Epidemiology*, vol. 121, no. 2, pp. 159-167, 1985.

- [4] D. Pittet, D. Tarara, R.P. Wenzel, “Nosocomial bloodstream infection in critically ill patients. Excess length of stay, extra costs, and attributable mortality,” *The Journal of the American Medical Association*, vol. 271, no. 20, pp. 1598- 1601, 1997.
- [5] E. Pollock, E.L. Ford-Jones, M. Corey, G. Barker, C.M. Mindorff, R. Gold, J. Edmonds, D., Bohn, “Use of the pediatric risk of mortality score to predict nosocomial infection in a pediatric intensive care unit,” *Critical Care Medicine*, vol. 19, no. 2, pp. 160-165, 1991.
- [6] J.L. Vincent, D.J. Bihari, P.M. Suter, H.A. Bruining, J. White, M.H. Nicolas-Chanoin, M. Wolff, R.C. Spencer, M. Hemmer, “The prevalence of nosocomial infection in intensive care units in Europe. Results of the European Prevalence of Infection in Intensive Care (EPIC) Study. EPIC International Advisory Committee,” *The Journal of the American Medical Association*, vol. 274, no. 8, pp. 639-644, 1995.
- [7] V. Jean-Louis, “Nosocomial infections in adult intensive-care units,” *Lancet*, vol. 362, no. 9382, pp. 2068-2077, 2003.
- [8] M.M. Khan, Y. Celik, “Cost of nosocomial infection in Turkey: an estimate based on the university hospital data,” *Health Services Management Research*, vol. 14, no. 1, pp. 49-54, 2001.
- [9] E. Cheek, V. Guercio, C. Shrubsole, S. Dimitroulopoulou, “Portable air purification: Review of impacts on indoor air quality and health,” *Science of The Total Environment*, vol. 766, pp. 142585, 2021.
- [10] M. Guo, M. Zhou, S. Wei, J. Peng, Q. Wang, L. Wang, D. Cheng, W. Yu, “Particle removal effectiveness of portable air purifiers in aged-care centers and the impact on the health of olderpeople,” *Energy and Buildings*, vol. 250, pp. 111250, 2021.
- [11] M. Rodríguez, M. L. Palop, S.Seseña, A. Rodríguez, “Are the portable air cleaners (PAC) really effective to terminate air borne SARS-CoV-2,” *Science of the Total Environment*, vol. 785, pp. 147300, 2021.
- [12] E. Cooper, Y.Wang, S.Stamp, E. Burman, D.Mumovic, “Use of portable air purifiers in homes: Operating behaviour, effect on indoor PM2.5 and perceived in door air quality,” *Building and Environment*, vol. 191, pp. 107621, 2021.
- [13] T. Zhang, S. Wang, G. Sun, L. Xu, D.Takaoka, “Flow impact of an air conditioner to portable air cleaning,” *Building and Environment*, vol. 360, no. 1323, pp. 2047-2056, 2010.
- [14] J. Pei, W. Dai, H. Li, J. Liu, “Laboratory and field investigation of portable air cleaners’ long-term performance for particle removal to be published in: Building and environment,” *Building and Environment*, vol. 181, pp. 107100, 2020.
- [15] J. Cai, W. Yu, B. Li, R. Yao, T. Zhang, M. Guo, H. Wang, Z. Cheng, J. Xiong, Q. Meng, H. Kipen, “Particle removal efficiency of a house hold portable air cleaner in real-world residences: A single-blindcross-overfieldstudy,” *Energy and Buildings*, vol. 203, pp. 109464, 2019.
- [16] A. Shiue, S. Hu, C. Tseng, E. Kuo, C. Liu, C. Hou, T. Yu, “Verification of air cleaner on-site modeling for PM2.5 and TVOC purification in a full-scaleindoorairqualitylaboratory,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 1, pp. 209-218, 2019.
- [17] T.C Sağlık Bakanlığı İnşaat ve Onarım Dairesi Başkanlığı. (2010, 20 Ağustos). *Türkiye sağlık yapıları asgari tasarım standartları 2010 yılı kılavuzu* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ekutuphane.saglik.gov.tr/Yayin/414>.

- [18] *Cleanrooms and associated controlled environments-Part1: Classification of air cleanliness by particles concentration*, ISO 14644–1, 2016.
- [19] W.J. Fisk, “Health benefits of particle filtration,” *Indoor Air*, vol. 23, no. 5, pp. 357-368, 2013.
- [20] M.P. Cal, M.J. Rood, S.M. Larson, “Gas phase adsorption of volatile organic compounds and water vapor on activated carbon cloth,” *Energy & Fuels*, vol. 11, pp. 311-315, 1997.
- [21] K.W. Jo ve H.H. Chun, “Application of fibrous activated carbon filter in continuous-flow unit for removal of volatile organic compounds under simulated indoor conditions,” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 14, no. 1, pp. 347–354, 2014.
- [22] ASHRAE. (2014, July 2). *Ashrae standards strategic plan* [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/2014-2015-ashrae-standards-strategic-plan.pdf>.
- [23] K. Aydın, “Ultraviyole ışınları ile suların dezenfeksiyonu,” *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 989-1004.
- [24] N. Hoda. (2019, 2 Ocak). *İklimlendirme sistemlerinde iç hava kalitesi için havanın filtrelenmesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.iccevrekalitesi.net/pdf/seminer/2015-19.pdf>.
- [25] S.B. Kim, C.H. Sung, “Kinetic study for photocatalytic degradation of volatile organic compounds in air using thin film TiO₂ photocatalyst,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 35, no. 4, pp. 305-315, 2002.
- [26] T. Obee, R.T. Brown, “TiO₂ photocatalysis for indoor air applications: effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1,3-butadiene,” *Environmental Science & Technology*, vol. 29, no. 5, pp. 1223-1231, 1995.
- [27] L.M. Sattler, H.M. Lijestrand, “Method for predicting photocatalytic oxidation rates of organic compounds,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 53, pp. 3-12, 2003.
- [28] R.M. Alberici, W.F. Jardim, “Photocatalytic destruction of VOCs in the gas-phase using titanium dioxide,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 14, no. 1-2, pp. 58-68, 1997.
- [29] N.I. Goldstein, R.N. Goldstein, M.N. Merzlyak, “Negative air ions as a source of superoxide,” *International Journal of Biometeorology*, vol. 36, pp. 118–122, 1992.
- [30] K. Nagato, Y. Matsui, T. Miyata, T. Yamauchi, “An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air,” *International Journal of Mass Spectrometry*, vol. 248, no. 3, pp. 142-147, 2006.