JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2023; 10(3): 156-166 Doi: 10.32592/joohe.10.3.156
https://johe.umsha.ac.ir

UMSHA Press

Review Article

A Review of Portable Air Cleaner Devices: Purification Processes, Performance Standards, and Effectiveness in Controlling Indoor Air Pollutants

Kamaladdin Abedi[1,2*]

[1] Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
[2] Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

Article history:
Received: 08 March 2023
Revised: 16 June 2023
Accepted: 19 June 2023
ePublished: 28 October 2023

***Corresponding author:** Kamaladdin Abedi, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
Email: kamal.abedi@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Indoor air pollutants are among the five most important environmental health risks. In recent years, concerns regarding indoor air quality in buildings have increased. This review has investigated studies conducted on portable air cleaners.

Materials and Methods: After determining the keywords, conducting comprehensive searches in the internet databases, and taking into account the inclusion and exclusion criteria, a complete review was conducted to obtain the latest findings and the general trend of the studies.

Results: Portable air cleaner devices are very diverse and are divided based on the type of technology used. Many standards have been developed to evaluate the performance of these devices in different countries, but none of them cover all aspects of performance. The effectiveness of these devices in removing VOCs is between 20% and 80%, depending on the type of technology and other influencing factors, and their effectiveness in removing suspended particles is between 70% and 95% on average. Furthermore, their efficiency in controlling COVID-19 is reported to be above 80% in cases where HEPA filters with grades 13 and above are used.

Conclusion: Devices equipped with the HEPA filtration process have been found to be very effective in controlling indoor suspended particles. The use of devices equipped with UVGI, plasma, and ozone technologies should be accompanied by caution due to dangerous by-products.

Keywords: Indoor air pollution, Performance standards, Portable air cleaners, Purification processes

Please cite this article as follows: Abedi K. A Review of Portable Air Cleaner Devices: Purification Processes, Performance Standards, and Effectiveness in Controlling Indoor Air Pollutants. *J Occup Hyg Eng*. 2023; 10(3): 156-166. DOI: 10.32592/joohe.10.3.156

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

Copyright © 2023 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

Extended Abstract

Background and Objective

Indoor air pollution is among the five significant environmental health risks [1, 2]. Typically, the best approach to reduce this risk is to control or eliminate pollution sources, or to exchange building air with outside air. However, air exchange is constrained by weather conditions and external air pollution [3, 4]. Therefore, air purification systems have been developed. Generally, these systems come in two types: fixed and portable [5].

Fixed purifiers are installed in the pathways of central heating ducts or building HVAC systems [6], while portable air purifiers can be moved to different rooms within a building [7]. This article focuses primarily on portable air purification devices (Portable air cleaners (PACs)). The idea of using PACs is not new. Studies show that since the 1930s, these devices have been used to improve the health of asthma patients or those with respiratory allergies [8-11]. However, commercially available PACs with a wide range of diversity have come into the market since the 1980s [12-14], and especially in the last two decades, they have seen significant development due to the substantial increase in indoor and outdoor air pollution, particularly in the last three years with the spread of the COVID-19 pandemic [15-25].

Despite the widespread use of PACs, there is little quantitative knowledge about these devices. Their performance indicators and standards have not been clearly outlined, and there is no global standard or unit indicator for evaluating their performance. Additionally, there is limited information about the selection and maintenance of PACs. Therefore, this study delves into examining studies conducted in the field of PACs. The classification of these devices, pollutant removal efficiency, standards and indicators used in performance assessment, their efficacy in controlling COVID-19, and their future developments have been analyzed.

Materials and Methods

In order to conduct this study, comprehensive research was carried out on the Scopus, Google Scholar, and Web of Science databases. The criterion for including all valid English studies published between 1980 and 2022 in the field of PACs.

Following the search, studies that did not meet the following criteria were excluded: being related to outdoor air pollution control (environmental), being related to in-duct purifiers or HVAC air handlers, being purely laboratory or simulation studies, and not being directly related to PAC. In total, 1314 studies were found, and through several stages, 50 studies were selected for review. The selected studies were carefully examined to obtain the latest findings and the overall trends of current and future studies.

Results & Discussion

PACs consist of a body, an air intake, filter components, and electronic control units [26]. In many cases, features such as remote control, a panel or touchscreen display, filter replacement alerts, and so on, have been added to them [27]. The air purification processes in PACs can be categorized into three groups: suspended particle filtration processes, biological suspended particle filtration processes, and gas and vapor filtration processes [23]. Table 1 briefly illustrates these processes.

Typically, the information needed for a confident selection of a PAC may include performance evaluation indicators for these devices, information about the device's filters, the noise level of the device, and safety aspects, particularly regarding the clean output free from ozone and other harmful pollutants [23- 28].

Despite the extensive use of PACs, especially in countries such as the United States and China, there is currently no specific international standard registered for the performance of these devices [29-43]. According to the standards of the United States, Canada, and Japan, a PAC device should have a CADR of at least 12, 4, and 8 times the room dimensions in square meters, respectively [44, 45]. Additionally, the World Health Organization (WHO) has deemed PAC devices with MERV 13 and 14 filters effective in controlling COVID-19 in its guidance [46].

One of the important factors in selecting PACs is the Air Changes Per Hour (ACH) rate. This indicator can be converted to CADR and thus can be used as a criterion for selecting these devices [47-50]. Considering the majority of studies' reports (particle size greater than 5.0μm), theoretically, complete removal of these particles by PACs is possible [51-60]. Zhao and colleagues have reported nearly 100% efficiency by 100 commonly used PAC devices in China, although the particles mentioned in this study were non-biological [61].

PACs with HEPA-like filters can have a high efficacy in reducing the COVID-19 pollution load [47, 50, 62-64]. Zhao and colleagues have suggested that the use of PACs in COVID-19 control should be done cautiously and as a complement to other methods such as air exchange, air disinfection, and so on [61].

Conclusion

This study has focused on examining PAC devices, air purification processes, performance standards, and the effectiveness of these devices in removing indoor air pollutants. Devices that employ HEPA filtration technology have proven highly efficient in managing airborne particles indoors. The utilization of devices featuring UVGI, plasma, and ozone technologies should be approached carefully due to the potentially hazardous side effects they may produce.

One limitation of this study is that most studies conducted in the past have been carried out in test chambers on the devices, and the number of studies conducted in real environments is limited. Therefore, the conclusions drawn are also confined to the results of test chambers. Additionally, due to the lack of studies conducted in various climatic conditions, including moist and arid conditions, the results of this study cannot be generalized to all climatic conditions.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات۱۶۶-۱۵۶
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله مروری

مروری بر دستگاه‌های قابل‌حمل تصفیه هوا: فرآیندهای تصفیه، استانداردهای عملکرد، اثربخشی در کنترل آلاینده‌های هوای محیط‌های داخلی

کمال الدین عابدی[۲،۱*]

[۱] پژوهشکده توسعه سلامت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** کمال الدین عابدی، پژوهشکده توسعه سلامت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران
گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران
ایمیل: kamal.abedi@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی‌های هوای داخل ساختمان‌ها در میان پنج ریسک مهم سلامت محیط زیست قراردارند. در سال‌های اخیر، نگرانی‌ها در ارتباط با هوای داخل ساختمان‌ها افزایش یافته است. در این مطالعه، به بررسی مطالعات انجام شده در حوزه تصفیه‌کننده‌های قابل حمل هوا پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: پس از تعیین کلمات کلیدی و انجام جستجوهای جامع در پایگاه‌های اینترنتی با درنظرگرفتن معیار ورود و خروج، بررسی‌های کاملی به منظور دریافت آخرین یافته‌ها و روندکلی مطالعات انجام گرفت.

یافته‌ها: دستگاه‌های قابل حمل تصفیه هوا تنوع بسیار زیادی دارند و براساس نوع فناوری مورداستفاده تقسیم‌بندی می‌شوند. استانداردهای زیادی برای ارزیابی عملکرد این دستگاه‌ها در کشورهای مختلف، توسعه یافته است، اما هیچ‌کدام همه جنبه‌های عملکردی را دربر نمی‌گیرند. اثربخشی حذف VOCs توسط این دستگاه‌ها باتوجه به نوع فناوری و سایر فاکتورهای اثرگذار، بین ۲۰ تا ۸۰ درصد و اثربخشی آن‌ها در حذف ذرات معلق به طور میانگین بین ۷۰ تا ۹۵ درصد بوده است. همچنین، کارایی این دستگاه‌ها در کنترل کووید-۱۹ در مواردی که فیلتر شبه هپا با گرید ۱۳ و بالاتر استفاده شده است، بالای ۸۰ درصد گزارش شده است.

نتیجه‌گیری: دستگاه‌های مجهز به فیلتراسیون هپا در کنترل ذرات معلق محیط‌های داخلی بسیار موثر تشخیص داده شده است. استفاده از دستگاه‌های مجهز به فناوری‌های UVGI، پلاسما و ازن، به دلیل تولید محصولات فرعی خطرناک باید بسیار با احتیاط همراه باشد.

واژگان کلیدی: دستگاه‌های قابل حمل تصفیه هوا، فرآیندهای تصفیه، استانداردهای عملکرد، آلودگی‌های هوای محیط‌های داخلی

استناد: عابدی، کمال الدین. مروری بر دستگاه‌های قابل‌حمل تصفیه هوا: فرآیندهای تصفیه، استانداردهای عملکرد، اثربخشی در کنترل آلاینده‌های هوای محیط‌های داخلی. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تابستان ۱۴۰۱؛۹(۲): ۱۶۶-۱۵۶.

مقدمه

آلودگی‌های هوای داخل ساختمان‌ها در میان پنج ریسک مهم سلامت محیط‌زیست قرار دارند [۱، ۲]. این آلودگی‌ها می‌توانند ذرات معلق یا گاز باشند و گستره وسیعی از آلاینده‌ها از دود سیگار گرفته تا انواع ویروس‌ها را شامل می‌شوند. معمولاً بهترین روش کاهش این ریسک، کنترل یا حذف منابع آلودگی یا تعویض هوای ساختمان با هوای خارج از ساختمان‌ها است. اما تعویض هوا تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و همچنین آلودگی‌های هوای خارج ساختمان‌ها با محدودیت همراه است [۳، ۴]. به همین جهت سیستم‌های تصفیه‌کننده هوا توسعه یافته‌اند. به‌طورکلی، این سیستم‌ها دارای دو نوع ثابت و قابل‌حمل هستند [۵]. تصفیه‌کننده‌های ثابت در مسیر کانال‌های حرارت مرکزی یا تهویه مطبوع ساختمان نصب می‌شوند [۶]، درحالی‌که تصفیه‌کننده‌های قابل‌حمل هوا را می‌توان در اتاق‌های مختلف ساختمان جابه‌جا کرد [۷]. در این مقاله تمرکز اصلی بر روی دستگاه‌های قابل‌حمل تصفیه هوا ((Portable air cleaners (PACs) می‌باشد.

ایده استفاده از PACs ایده جدیدی نیست. مطالعات نشان می‌دهند که از دهه ۱۹۳۰ به بعد، این دستگاه‌ها برای بهبود بیماران دارای آسم یا آلرژی‌های تنفسی به‌کار رفته‌اند [۸-۱۱]. اما از دهه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]
[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

۱۹۸۰ به بعد این دستگاه‌ها به شکل تجاری و با تنوع زیاد وارد بازار شده‌اند [۱۲-۱۴] و به‌ویژه در دو دهه اخیر به دنبال افزایش چشمگیر آلودگی‌های هوای داخل و همچنین خارج ساختمان‌ها و به‌ویژه در سه سال اخیر با گسترش پاندمی کووید-۱۹، توسعه زیادی یافته‌اند[۱۴-۱۸]. گزارش‌ها حاکی از آن است که در ایالات‌متحده در یک دهه اخیر استفاده از این دستگاه‌ها در مکان‌های مسکونی گسترش بیش از ۳۰ درصدی داشته است [۱۹]. همچنین، گزارش مطالعه گروه Freedonia نشان می‌دهد که تقاضای بازار جهانی در سال ۲۰۱۹ برای این دستگاه‌ها بیش از ۱۰ میلیارد دلار بوده است [۲۰].

تعریف استاندارد و دقیقی برای PACs در متون علمی موجود نیست. اما به‌طورکلی می‌توان گفت PACs تمامی دستگاه‌های الکتریکی مورداستفاده در مکان‌های خانگی، اداری، تجاری، صنعتی (بخش اداری و دفتری صنعت) و داخل خودروها را شامل می‌شود که قابلیت انتقال از یک مکان به مکانی دیگر را دارند و به‌منظور حذف آلودگی‌های هوای محیط داخل طراحی شده است. این دستگاه‌ها در حالت‌های ایستاده، رومیزی، دیواری و چندحالته وجود دارند [۱۴, ۲۱]. در این دستگاه‌ها تاکنون از بیشتر فناوری‌های موجود تصفیه هوا شامل فیلتراسیون مکانیکی (هپا و ...)، ته‌نشینی الکتروستاتیکی، یون‌سازی، تشعشع UV باکتری‌کش (UVGI)، اکسیداسیون فوتوکاتالیستی (PCO)، اکسیداسیون پلاسمایی، اکسیداسیون به کمک ازن و جذب سطحی (کربن فعال و ...) استفاده شده است [۲۲, ۲۳]. در سال‌های اخیر دستگاه‌های PAC بیشتر به شکل هیبریدی ساخته شده است و سازندگان آن‌ها ادعا می‌کنند که هر دو نوع آلودگی هوا (ذرات معلق و گازها و بخارها) توسط آن‌ها تصفیه می‌شود و حتی در بسیاری از موارد، تعداد بیشتر فیلتر استفاده شده در آن‌ها به مزیتی برای رقابت در بازار تبدیل شده است.

مطالعات حوزه PAC در ۲۰ سال گذشته به دلیل افزایش آلودگی‌های هوای محیط‌های داخلی و به‌ویژه در چند سال اخیر با انتشار ویروس کووید-۱۹، گسترش بیشتری یافته‌است. در این رابطه، بر اساس گزارش Novoselac و Siegel، درصورتی‌که PACs در داخل ساختمان جابه‌جا شوند، ۲/۵ برابر بیشتر از حالتی که ثابت باشند عمل تصفیه ذرات معلق هوا را انجام می‌دهند [۱۵]. همچنین، گزارش Hart و همکاران نشان می‌دهد که استفاده از PACs مجهز به فیلتر الکتروستاتیکی به میزان ۸۰-۶۵ درصد در کاهش ذرات معلق $PM_{2.5}$ در داخل خانه‌های دارای بخاری‌های چوب سوز مؤثر بوده است [۲۴]. به‌علاوه، مطالعه Molgaard و همکاران مشخص نمود که شاخص نرخ دریافت هوای پاک (CADR) برای PACs مجهز به فرآیند یونیزاسیون، فیلتر الکتروستاتیکی و فیلتراسیون هپا برای ذرات بالاتر از ۱۰۰ نانومتر، به ترتیب ۴۰، ۷۰ و بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ مترمکعب بر ساعت بود. برای ذرات پایین‌تر از اندازه‌ی گفته شده، راندمان فرآیند یونیزاسیون بهتر بود [۲۵].

باوجود گسترش زیاد PACs، شناخت کمی در مورد این دستگاه‌ها وجود دارد. شاخص‌های عملکرد و استانداردهای آن‌ها به‌روشنی تشریح نشده است و استاندارد یا شاخص واحدی در سطح جهانی برای ارزیابی عملکرد آن‌ها وجود ندارد. همچنین، اطلاعات کمی پیرامون شیوه انتخاب و نحوه نگهداری از PACs وجود دارد. بنابراین، در این مطالعه، به بررسی مطالعات انجام‌شده در حوزه PACs پرداخته شده است. تقسیم‌بندی این دستگاه‌ها، کارایی حذف آلاینده‌ها، استانداردها و شاخص‌های مورداستفاده در ارزیابی عملکرد، کارایی آن‌ها در کنترل کووید-۱۹ و توسعه آن‌ها در آینده مورد تحلیل قرار گرفته است.

روش کار

به‌منظور انجام این مطالعه، تحقیقات جامعی در پایگاه‌های Scopus، Google scholar و Web of Science انجام گرفت. معیار ورود تمامی مطالعات انگلیسی معتبر منتشرشده در فاصله زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ میلادی که در حوزه PACs انجام شده بودند، بود. بر این اساس، کلمات کلیدی جستجوشده شامل دستگاه قابل‌حمل تصفیه هوا، آلودگی هوای داخل ساختمان، استاندارد آزمون عملکرد، اتاق، خودرو، کابین قطار، هواپیما، فضای اداری، فضای مسکونی، استادیوم، ویترین، مترو، زندان، آپارتمان، خانه، کلاس، کلینیک، آزمایشگاه، بیمارستان، هپا، کربن فعال، PCO، UVGI، پلاسما، کاتالیست، ازن، یونیزه کننده هوا، گردوغبار، دود سیگار، $PM_{2.5}$، PM_{10}، ویروس، باکتری، کپک، قارچ، کووید-۱۹، گرده گیاهان، مایت، هیدروکربن‌های آلی فرار، مونوکسید کربن، بو، آلرژن، سوسک، مو و کرک گربه و حیوانات خانگی بودند. پس از جستجو، مطالعاتی که معیارهای زیر را نداشتند، حذف شدند: در حوزه کنترل آلودگی هوا خارج ساختمان (محیطی) بودند، در زمینه تصفیه‌کننده‌های داخل کانال‌ها یا هواسازهای تهویه مطبوع بودند، مطالعات آزمایشگاهی یا شبیه‌سازی بودند و در ارتباط مستقیم با PAC نبودند. در کل ۱۳۱۴ مطالعه یافت گردید که طی چندین مرحله از بین آن‌ها ۵۰ مطالعه برای بررسی انتخاب گردید. مطالعات انتخاب‌شده به‌منظور دریافت آخرین یافته‌ها و روند کلی مطالعات در حال و آینده به‌دقت موردبررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

در PACs از یک یا چند مکانیسم تصفیه هوا استفاده می‌شود که بسته به نوع مکانیسم‌های مورداستفاده، این دستگاه‌ها دارای ساختارهای متفاوتی است ولی به‌طور کلی می‌توان گفت که این دستگاه‌ها دارای بدنه، هواکش، قسمت فیلترها و قسمت کنترل الکترونیکی هستند [۲۶]. همچنین، امروزه PACs علاوه بر عملکرد اصلی خود، به بسیاری از ابزارهای دیگر مانند بو زدا، مرطوب‌کننده هوا و حتی به دام اندازی پشه نیز مجهز شده‌اند. در سال‌های اخیر برای استفاده راحت‌تر از این دستگاه‌ها، در بسیاری از موارد ابزارهایی همچون کنترل از راه دور، پنل یا صفحه‌نمایش لمسی،

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

هشدار تعویض فیلتر و ... نیز به آن‌ها اضافه شده است. هم‌چنین دستگاه‌های تصفیه هوا اغلب دارای طراحی زیبایی هستند و ازنظر سبک طراحی و ظرفیت و مدل و کاربرد بسیار متنوع هستند و به‌راحتی با فضاهای مسکونی یا کاری هماهنگ می‌شوند [۲۷]. این موارد شاید بخشی از دلایل گسترش و محبوبیت چشمگیر PACs در سال‌های اخیر باشند. فرآیندهای تصفیه هوا در PACs را می‌توان به سه گروه فرآیندهای تصفیه ذرات معلق، فرآیندهای تصفیه ذرات معلق بیولوژیکی و فرآیندهای تصفیه گازها و بخارها تقسیم کرد [۲۳]. جدول ۱ به‌اختصار این فرآیندها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. فرآیندهای استفاده‌شده در PACs جهت تصفیه آلودگی‌های هوای داخل ساختمان

نوع آلاینده قابل تصفیه	فرآیند تصفیه
ذرات معلق (گردوغبار و ...)	فیلتراسیون مکانیکی (فیلترهای G4، H13 و ...) ته‌نشینی الکتروستاتیکی یون‌سازی UVGI
ذرات معلق بیولوژیکی (باکتری، ویروس، قارچ و ...)	فیلتراسیون مکانیکی (H13، H14 و ...) ضدعفونی با ازن
گازها و بخارها	PCO پلاسما جذب سطحی (کربن فعال و ...) اکسیداسیون ازن اکسیداسیون بیولوژیکی

استانداردها و شاخص‌های عملکرد

عملکرد دستگاه‌های PAC معمولاً توسط چشم و سایر حواس انسان قابل‌تشخیص نیست. هم‌چنین، امروزه دستگاه‌های PAC بسیار متنوعی ازنظر شکل، اندازه، ساختار و فناوری‌های تصفیه هوا در بازار ارائه شده‌اند. این موارد انتخاب یک دستگاه را برای خریدار که بهترین تناسب را با محل زندگی یا کار او داشته باشد، بسیار مشکل می‌کند. هم‌چنین، خریدار معمولاً نمی‌داند چه اطلاعات فنی باید از فروشنده درخواست نماید تا آن‌ها را ارزیابی کند درک تفاوت‌های PACs موجود در بازار و صحت سنجی ادعاهای سازندگان این دستگاه‌ها برای افراد غیرمتخصص بسیار مشکل است. معمولاً اطلاعاتی که خریدار به‌منظور انتخاب مطمئن یک PAC نیاز دارد می‌تواند شامل مواردی از قبیل شاخصی برای ارزیابی عملکرد این دستگاه‌ها، اطلاعاتی در مورد فیلترهای دستگاه، تراز صدای دستگاه و ایمنی به‌ویژه درباره خروجی پاک و عاری از ازن و سایر آلاینده‌های مضر باشد [۲۸, ۲۳].

باوجود گسترش استفاده از PACs به‌ویژه در کشورهایی همچون ایالات‌متحده و چین، تاکنون هیچ استاندارد بین‌المللی اختصاصی برای عملکرد این دستگاه‌ها ثبت نشده است. استاندارد بین‌المللی ISO 29464:2017 در مواردی به‌کار رفته است اما این استاندارد در اصل مربوط به فیلترهای تهویه عمومی است و به‌طور اختصاصی برای PACs طراحی نشده است. هم‌چنین استاندارد بین‌المللی IEC 60335-2-65:2002 مربوط به ایمنی ساختار و بدنه PACs است و عملکرد و سایر ویژگی‌های این دستگاه‌ها را دربر نمی‌گیرد [۳۰, ۲۹]. در سال‌های اخیر چندین روش آزمون در کشورهای مختلف توسعه یافته است و بعضی از آن‌ها تبدیل به استانداردهای ملی نیز شده‌اند، اما این روش‌ها نیز هیچ‌کدام روشی جامع برای ارزیابی تمامی زمینه‌های عملکردی PACs نیستند [۴۲-۳۱]. استاندارد ANSI/AHAM AC-1:2006 نخستین استاندارد توسعه‌یافته برای ارزیابی عملکرد PACs است که در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط انجمن تولیدکنندگان لوازم‌خانگی آمریکا پیشنهاد گردید و در سال ۲۰۰۵ به‌عنوان استاندارد ملی ایالات‌متحده پذیرفته شد [۴۳]. سایر استانداردها پس‌ازاین استاندارد و در مواردی هم‌زمان با آن توسعه یافته‌اند. جدول ۲ استانداردهای توسعه‌یافته و استفاده‌شده در این زمینه را نشان می‌دهد.

با مشاهده جدول ۲ می‌توان فهمید که بیشتر استانداردهای موجود، کارایی دستگاه را در حذف ذرات معلق مورد ارزیابی قرار می‌دهند. شاخص مورداستفاده برای این منظور، نرخ تحویل هوای پاک (CADR) است که بیشترین استفاده را در بین همه استانداردها دارا است [۳۴]. مطابق استاندارد آمریکا، کانادا و ژاپن، دستگاه PAC به ترتیب باید دارای CADR حداقل ۱۲، ۴ و ۸ برابر ابعاد اتاق برحسب مترمربع باشد [۴۴]. شاخص CADR، علاوه بر ذرات، برای آلودگی‌های گازی نیز کاربرد دارد اما مقادیر آن متفاوت از CADR ذرات خواهد بود. شاخص CADR، عملکرد طولانی‌مدت دستگاه را نمی‌سنجد و معمولاً پس از ۲۰ دقیقه روشن بودن دستگاه در اتاقک آزمون، محاسبه می‌شود. در استاندارد چینی GB/T 18801:2015 تلاش شده است عملکرد طولانی‌مدت دستگاه از طریق محاسبه شاخصی به نام جرم تصفیه تجمعی (CCM) تعیین شود [۳۳].

چندین روش استاندارد غیراختصاصی نیز در جدول ۲ به چشم می‌خورد. این استانداردها در اصل برای اندازه‌گیری کارایی انواع مختلف فیلترها و کیفیت هوای داخل تدوین شده‌اند و سابقه آن‌ها اغلب بسیار بیشتر از استانداردهای اختصاصی PACs است [۴۳].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

برخی از این استانداردها در مواردی توسط مطالعات گذشته برای ارزیابی عملکرد PACs مورداستفاده قرار گرفته‌اند یا برای استفاده در این زمینه پیشنهاد شده‌اند [۴۵, ۲۳]. ANSI/ASHRAE 52.2:1992 و GB/T 18883-2002 مهم‌ترین این استانداردها را تشکیل می‌دهند. در این استانداردها، کارایی فیلترها بر اساس MERV از یک تا ۲۰ تقسیم‌بندی می‌شود. از فیلترهای با درجهMERV بین ۵ تا ۷ معمولاً به عنوان پیش فیلتر و از فیلترهایی با درجه MERV بین ۷ تا ۱۴ به‌عنوان فیلتر اصلی در دستگاه‌های PAC استفاده می‌گردد [۲۲]. فیلترهای با درجه MERV بین هفت تا ۱۴ تقریباً به‌اندازه فیلترهای هپای واقعی (MERV بین ۱۷ تا ۲۰) کارایی دارند و دبی هوا و در نتیجه CADR بالاتری را تأمین می‌نمایند. درعین حال محدودیت‌های فیلترهای هپا را ازنظر قیمت و افت فشار ندارند. همچنین سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیز در راهنمای خود در ارتباط با کنترل کووید-۱۹، دستگاه‌های PAC دارای فیلتر با MERV ۱۳ و ۱۴ را مؤثر دانسته است [۴۶].

کارایی PACs در ارتقای کیفیت هوای داخل ساختمان

یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب PACs، میزان تعویض هوا در ساعت ((Air changes per hour (ACH) است. این شاخص قابل تبدیل به CADR است و ازاین‌رو به عنوان معیاری برای انتخاب این دستگاه‌ها می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد [۴۶]. در مطالعات بررسی‌شده (۲۰ مطالعه) عملکرد PACs در حذف ذرات هوابرد ریز، مورد ارزیابی قرار گرفته است (٪۴۰). ۱۰ مطالعه، حذف ذرات دود سیگار را ارزیابی نموده اند (٪۲۰). تعداد کمی از مطالعات نیز ذرات هوابرد درشت‌تر همچون ذرات حامل آلرژن‌های مایت، سگ و گربه را بررسی کرده‌اند (۵ مطالعه، ٪۱۰). در مطالعات زیادی، PACs مجهز به فیلتر هپا موردبررسی قرار گرفته‌اند (٪۶۵). بااین‌وجود، در سال‌های اخیر بسیاری از سازندگان، دستگاه PAC خود را هیبریدی نامیده‌اند که از چندین مرحله تمیزکننده هوا استفاده می‌نماید اما قرارداد چندین فیلتر به دنبال هم و به‌صورت سری، مقاومت در برابر عبور هوا را افزایش می‌دهد که آن‌هم منجر به کاهش CADR یا نشتی هوا از کناره‌ها می‌شود [۴۸]. جدول ۳ بعضی از پارامترهای PACs در مطالعات گذشته را در ارتباط با حذف ذرات معلق، گازها و بخارها و میکروارگانیسم‌ها نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳ می‌توان گفت که کارایی دستگاه‌های PAC برای حذف ذرات معلق بسیار متفاوت (از ۱۵ تا ۹۰ درصد) گزارش شده است. به نظر می‌رسد که دستگاه‌های مجهز به هپا و الکتروستاتیک دارای بیشترین و یون‌سازها و ازن‌سازها دارای کمترین کارایی برای حذف ذرات هستند. هم‌چنین، گزارش شده است که دستگاه‌های یون‌ساز علاوه بر آلاینده ثانویه ازن، ذرات معلق با اندازه ۵۵-۱۰ نانومتر نیز تولید می‌کنند [۴۹]. جدول ۳ نشان می‌دهد که کارایی بسیاری از دستگاه‌های PAC برای حذف ذرات کوچک‌تر از ۰/۵ میکرومتر بسیار کم و در بعضی موارد کمتر از ۶۰ درصد است. با افزایش اندازه ذرات، کارایی بهتر می‌شود و به بالای ۸۰ درصد می‌رسد [۴۸]. یکی از دلایل، این است که در این دستگاه‌ها، فیلترهای هپای واقعی با درجه MERV ۱۷ تا ۲۰ (کارایی ۹۹/۹۷ درصد برای ذرات ۰/۳ میکرومتر) استفاده نشده است و فیلترهای شبه هپا با MERV ۱۳-۱۴ یا کمتر مورداستفاده قرار گرفته است [۵۰]. اما همان‌طورکه اشاره شد فیلترهای هپا نیز محدودیت‌های خاص خود را در این دستگاه‌ها دارند.

بر اساس جدول ۳ در ارتباط با حذف گازها و بخارهایی همچون آمونیاک، استیک اسید، استالدئید و تولوئن در بعضی از موارد کارایی ۹۰ درصدی گزارش شده است هرچند در موارد زیادی کارایی PAC برای حذف گازها و بخارها کمتر از ۶۰ درصد بوده است [۴۴].

در ارتباط با دستگاه‌های مجهز به UV-PCO، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در صورت طراحی درست، کارایی این دستگاه‌ها قابل‌مقایسه با جذب سطحی است. اما درحال حاضر دستگاه‌های مجهز به UV-PCO موجود در بازار کارایی مؤثری در حذف گازها ندارند. گفته می‌شود که مشکل ادغام نشدنِ بهینه UV، کاتالیست و جریان هوای آلوده باعث می‌شود که این فناوری برای تصفیه هوای داخل مناسب نباشد [۴۸]. مطالعات بیشتری برای درک مکانیسم‌ها و طراحی بهینه فرآیندهای پلاسما، UV-PCO و اکسیداسیون ازن موردنیاز است.

اثربخشی PACs در کنترل کووید-۱۹

از زمانی که احتمال هوابرد بودن ویروس کووید-۱۹ مطرح شد، سازمان WHO، نرخ تعویض هوا بین ACH 12-6 (بین ۶۰ تا ۱۶۰ لیتر بر ثانیه به ازای هر بیمار) را توصیه کرد [۴۶]. از همان زمان، تصفیه کردن هوا به‌ویژه با استفاده از PACs مجهز به فیلتر شبه

جدول ۲. استانداردها و روش‌های آزمون اختصاصی توسعه‌یافته جهت ارزیابی عملکرد PACs

استاندارد (روش آزمون)	کشور	ذرات معلق (گستره اندازه µm)	گاز	شاخص عملکرد
ANSI/AHAM AC-1:2006 **AHAM AC-2-2009** **AHAM AC-3-2009** **ANSI/UL 867:2021** **ANSI/ASHRAE 52.2:1992**	ایالات‌متحده	دود سیگار (0.1 - 1.0) خاک جاده آریزونا (0.5 - 3.0) گرده درخت توت (5 - 11) - گردوغبار (0.3-1.0) گردوغبار (1.0-3.0)	کاربرد ندارد ازن خروجی کاربرد ندارد	CADR* ppm MERV**

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

		گردوغبار (3.0-10.0)		
NRCC-54013-2011	کانادا	کلرید سدیم پلی دیسپرس NaCl (0.05 - 5)	کاربرد ندارد	CADR
GB/T 18801:2015 **GB 21551.3-2010** **GB/T 18883-2002**	چین	دود سیگار (0.1 - 1.0) خاک جاده آریزونا (0.5 - 3.0) گرده درخت توت (5 - 11) باکتری استافیلوکوکوس آلبوس ذرات معلق قابل‌تنفس	تک گاز (فرمالدئید، تولوئن و ...) کاربرد ندارد رادون، فرمالدئید، مونوکسید کربن و ...	CADR, SPRE*** میزان حذف (%) IAQ****
JEM 1467:2013 **JIS C 9615:2006**	ژاپن	دود سیگار گردوغبار استاندارد (JIS Z 8901)	تک گاز (آمونیاک، استالدئید و اسید استیک) NO_2, SO_2	میزان حذف (%)، SPRE
XP B44-200:2011	فرانسه	*****DEHS، آلرژن‌های گربه، استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس، آسپرژیلوس نیگر (0.3 و 5)	ترکیبی (استون، استالدئید، هپتان و تولوئن)	CADR, SPRE
Nord test method – NT CONS 009:1985	کشورهای اسکاندیناوی	ذرات (0.3, 0.5, <1.0)	کاربرد ندارد	SPRE
EN-HSLU-2016 (HP-151554)	سوئیس	DEHS (<5.0)	کاربرد ندارد	زمان بازیافت (دقیقه)
SPS-KACA 002-132	کره جنوبی	ذرات کلرید پتاسیم KCl (0.3)	ترکیبی (آمونیاک، استالدئید، اسید استیک، تولوئن، فرمالدئید)	CADR، میزان حذف (%)
ISO 29464:2017	بین‌المللی	PM_1 – PM_{10}	VOCs، اسیدها، بازها و ...	SPRE

*نرخ تحویل هوای پاک (Clean air delivery rate)، **حداقل مقدار کارایی گزارش‌شده (Minimum Efficiency Reporting Value)، ***کارایی حذف عبور یک مرحله‌ای (Single-pass removal efficiency)، ****شاخص کیفیت هوای داخل (Indoor air quality)، *****دی-اتیل-هگزیل-سباکات (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat).

هپا نیز توصیه گردید. ازآنجایی‌که تعویض هوای محیط، اولویت اول در بین روش‌های مهندسی کنترل کووید-۱۹ به شمار می‌رود، ازاین‌رو بیشتر مطالعات بر نرخ تعویض هوای تأمین شده توسط PACs و CADR این دستگاه‌ها تأکید کردند [۲۶]. مطالعات مربوط به کارایی PACs در کنترل کووید-۱۹ (۱۵ مطالعه، ۳۰٪) بیشتر در محیط‌های بیمارستانی و کلینیک‌ها و تعداد کمتری نیز در فضاهای عمومی، مدارس و سالن‌های اداری انجام شده‌اند [۱۷, ۵۴-۵۷].

جدول ۳. کارایی PACs گزارش‌شده در مطالعات گذشته در ارتباط با بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان

منبع	کارایی حذف (%) یا CADR (m^3/h)	دبی (m^3/h)	ذرات و گازهای آزمون	نوع فرآیند تصفیه	نوع آزمون یا مطالعه	ازن یا سایر محصولات فرعی گزارش‌شده	نتیجه‌گیری محققان در خصوص کارایی PACs
[۵۱]	CADR ذرات ۲۹۵ CADR فرمالدئید ۱۱۰ CADR بخارها ۲۷-۱۳۴	دبی هواکش اتاقک آزمون 500	آلاینده‌های معمول هوای داخل به شکل ترکیبی شامل دود سیگار (0.3-2.5 µm)، تولوئن، استالدئید، استون، زایلن، ...	۶ دستگاه PAC موردمطالعه قرار گرفتند. نوع فرآیند مشخص نشده اما با توجه به ترکیبی بودن آلاینده‌ها، فرآیند تصفیه هیبریدی بوده است.	آزمایشگاهی (اتاقک آزمون مطابق با استاندارد GB/T 18801:2015)	-	PACs عملکرد قابل قبولی برای ارتقای کیفیت هوای داخل به‌ویژه در مورد ذرات معلق دارند.
[۵۲]	CADR ذرات ۲۰-۵۶۰، CADR فرمالدئید ۰-۱۶۳، کارایی حذف ذرات بین ۹۲-۲۲ درصد، کارایی حذف گازها و بخارها بر اساس نوع گاز متفاوت و بین ۵۰-۰ درصد	دبی PACs 120-600	گردوغبار، گرده گیاهان، اسپور بیولوژیک، نیکوتین، وینیل پیریدین، فرمالدئید، مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن	چندین دستگاه PAC مجهز به فیلترهای هپا، الکتروستاتیک، یون‌ساز و ازن ساز مورد آزمون قرار گرفتند.	آزمایشگاهی (اتاقک آزمون مطابق AHAM AC-1) بازمان نمونه‌برداری ۲۰ دقیقه برای ذرات تا ۱۸۰ دقیقه برای مونوکسید کربن	-	PACs عملکرد یکسانی در تصفیه آلاینده‌های داخل ندارند. CADR و کارایی آن‌ها تفاوت بسیار زیادی باهم دارد. دستگاه‌های مجهز به هپا و الکتروستاتیک دارای بیشترین و یون‌سازها و ازن سازها دارای کمترین کارایی برای حذف ذرات هستند. PACs دارای جاذب سطحی کارایی خوبی در حذف گازها و بخارها (به استثنای نیکوتین و مونوکسید کربن) دارند. شاخص CADR پس از کار کردن دستگاه به مدت طولانی، افت قابل‌توجهی دارد.
[۵۳]	CADR ذرات	دبی PACs	دود حاصل از	سه نوع دستگاه	آزمایشگاهی (اتاقک	-	PACs مجهز به فیلتر هپا (به‌ویژه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

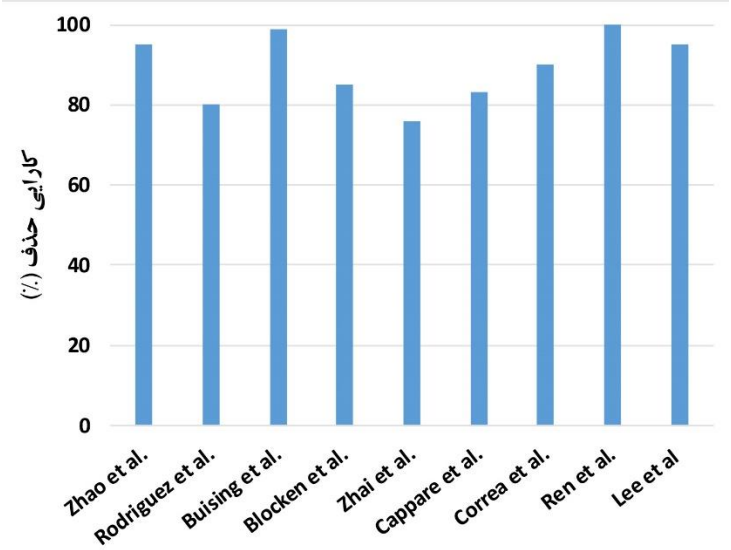
	۴۶۷-۲۰۰، زمان پاک‌سازی ۱۹-۳۱ دقیقه و همراه با سیستم HVAC ۶ دقیقه	200-467	محلول گلیکول آبی با میانگین اندازه ذرات معلق در هوا ۱ میکرومتر	PAC مجهز به فیلترهای هپا H13 مورد آزمون قرار گرفتند.	آزمون با حجم ۲۴ مترمکعب دارای ACH برابر با ۲/۳) و اتاق بیمارستانی واقعی با حجم ۳۷ مترمکعب دارای ACH برابر ۱۳/۹		دستگاه‌های با دبی بالا) دارای عملکرد مؤثری در حذف آئروسلها هستند و در حضور آن‌ها، ذرات معلق ۴ تا ۵ برابر سریعتر از زمانی که HVAC به تنهایی استفاده می‌شود، تصفیه می‌شوند. در صورت استفاده از دو دستگاه PAC همراه با HVAC، شاخص ACH اتاق از ۱۳/۹ به ۳۹/۲ و زمان پاکسازی اتاق از ۱۹ دقیقه به ۶ دقیقه ارتقا می‌یابد.
[۲۴]	CADR دود ۱۸۰، کارایی حذف ۶۱ تا ۸۵ درصد، برای ذرات کوچکتر از ۱ میکرومتر حدود ۶۰ درصد و ذرات $PM_{2.5}$ بالاتر از ۷۶ درصد	دبی PACs 180	دود چوب حاصل از بخاری چوبی	یک نوع دستگاه PAC تجاری مجهز به فیلتر الکتروستاتیک در خانه‌های دارای بخاری چوبی مورد آزمون قرار گرفت.	در شرایط واقعی، در یک خانه به مساحت ۱۲۵ متر مربع دستگاه PAC به مدت ۱۲ ساعت روشن و ۱۲ ساعت خاموش شد. در هر دو حالت میزان جرمی و عددی ذرات معلق $PM_{2.5}$ اندازه گیری شد.	-	PACs مجهز به فیلتر الکتروستاتیک در کاهش ذرات معلق دود چوب در خانه‌های دارای بخاری چوبی موثر می‌باشند. هر چه اندازه ذرات کاهش می‌یابد کارایی پایین تر می‌باشد.
[۴۹]	CADR دستگاه‌های هپا ۱۸۸-۳۲۴، CADR دستگاه الکتروستاتیک ۲۸۴، CADR دستگاه‌های یون ساز ۳۰-۴۱	دبی دستگاه‌های هپا ۳۰۹-۵۷۱، الکتروستاتیک ۸۵۰ و دستگاه‌های یون ساز ۳۰-۵۰	ذرات ۵۰۰-۵۰ نانومتری	چندین دستگاه PAC مجهز به فیلترهای هپا، الکتروستاتیک و یون ساز مورد آزمون قرار گرفتند.	آزمایشگاهی (اتاقک آزمون با حجم ۱۴/۷۵ متر مکعب) و محیط خانگی با حجم ۳۹۲ متر مکعب	دستگاه الکتروستاتیک به میزان 3.8 mg/h و دستگاه‌های یون ساز 3.3-4.3 mg/h ازن تولید نمودند. در حضور دستگاه یون ساز، غلظت فرمالدئید نیز افزایش یافت و ذرات معلق ثانویه نیز ایجاد گردید.	دستگاه‌های مجهز به هپا و الکتروستاتیک کارایی بالایی (۹۰-۸۰ درصد) در اتاقی معمولی با حجم ۵۰ متر مکعب و دستگاه‌های یون ساز (۴۰-۶۰ درصد) برای حذف ذرات ۵۰-۵۰۰ نانومتر نشان دادند. در محیط بزرگتر با حجم ۳۹۲ متر مکعب، کارایی دستگاه‌های هپا و الکتروستاتیک برای حذف همین ذرات ۴۰-۶۰ درصد و کارایی دستگاه‌های یون ساز بسیار پایین تر و حدود ۱۰-۲۰ درصد بود. در عین حال، دستگاه‌های یون ساز علاوه بر ازن، در حضور ترپن‌ها، ذرات معلق با اندازه ۵۵-۱۰ نانومتر نیز تولید می‌کنند.
[۴۸]	کارایی حذف برای دستگاه‌های مجهز به جذب سطحی ۲۵-۵۵ درصد، برای سایر دستگاه‌ها کمتر از ۱۵ درصد	دبی دستگاه‌های جاذب سطحی (۲۷۰-۵۷۰)، UV-PCO (۲۴)، پلاسما، اکسیداسیون ازن و حذف بیولوژیکی (۱۴-۲۷)	فرمالدئید و سایر VOCهای شاخص آلودگی هوای داخل ساختمان (۱۷ نوع)	چندین دستگاه PAC مجهز به فیلترهای جذب سطحی، UV-PCO، پلاسما، هیبرید پلاسما و UV-PCO، اکسیداسیون ازن و حذف بیولوژیکی مورد آزمون قرار گرفتند.	آزمایشگاهی (اتاقک آزمون با حجم ۵۵ متر مکعب)	ازن در خروجی دستگاه‌های پلاسما، هیبرید پلاسما و UV-PCO و اکسیداسیون ازن بسیار بالاتر از حد تعیین شده OSHA (100 ppb) بود. حتی در دستگاه‌های مجهز به فیلتر جذب سطحی اما دارای واحد بوزدای پلاسما نیز در حدود 20 ppb ازن انتشار یافت.	میانگین کارایی حذف ۱۲ ساعته بین کمتر از ۱۵ تا ۵۵ درصد بود. دستگاه‌های دارای فیلتر چین خورده هپا به دلیل کمک کردن به توزیع بهتر جریان هوا روی سطح فیلتر جذب سطحی، عملکرد بهتری داشتند. اما کارایی و CADR در این دستگاه‌ها با هم تفاوت زیادی دارد. طراحی بهینه فیلتر جذب سطحی نقش مهمی در کارایی حذف دارد. روش‌های پلاسما و UV-PCO کارایی پایینی نشان دادند و روش حذف بیولوژیکی در حذف بسیاری از VOCها موثر نبود. روش‌های پلاسما و اکسیداسیون ازن، دارای خروجی ناسالم می‌باشند.
[۴۴]	CADR گازها ۰-۹۶	۴۲۰-۱۸۰	آمونیاک، استیک اسید، استالدئید، تولوئن	۱۸ دستگاه PAC مجهز به فیلترهای هپا و جذب سطحی (کربن فعال) مورد آزمون قرار گرفتند.	آزمایشگاهی (اتاقک آزمون با حجم ۴ متر مکعب) مطابق با استاندارد ژاپن، کره و یک روش جدید پیشنهادی	-	کارایی دستگاه‌ها بسته به نوع فیلتر، دبی و نوع آلاینده متفاوت بود ولی به طور کلی برای گازهای اسید استیک، آمونیاک و تولوئن حدود ۹۰ درصد و بالاتر بود. در روش جدید پیشنهادی، با ضرب CADR در دبی در ضریب 0.83، کارایی حذف یک مرحله ای دستگاه به دست می‌آید.

ویروس کووید-۱۹ اندازه‌ای کوچک (کمتر از ۰/۵μm) دارد. این ویروس به‌تنهایی کمتر انتقال پیدا می‌کند و بیشتر توسط قطرات تنفسی فرد آلوده هنگام عطسه، سرفه، صحبت کردن و حتی نفس کشیدن انتقال می‌یابد. به همین جهت درباره طیف اندازه و مهم‌ترین ذرات انتقال‌دهنده ویروس‌ها، اختلاف‌نظر وجود دارد. Morris و همکاران، طیف اندازه این قطرات را یک تا چهار μm ذکر کرده‌اند [۵۴]. مطالعات دیگری، ذرات معلق عفونی را به دو گستره‌ی زیر میکرونی (۰/۲۵μmتا۱μm) و بالای میکرونی (<۲/۵μm) تقسیم می‌کنند [۵۸]. درعین حال، منابع دیگری گستره این ذرات را بین ۰/۶۵ تا ۳/۳ μm تعیین کرده‌اند [۶۰, ۵۹]. بنابراین با در نظرگرفتن گزارش بیشتر مطالعات (اندازه ذرات بیشتر از ۰/۵μm)، ازلحاظ تئوری، حذف کامل این ذرات توسط PACs امکان‌پذیر است. Zhao و همکاران، کارایی حدود ۱۰۰ درصدی را توسط ۱۰۰ دستگاه PAC رایج در چین گزارش نموده اند، البته ذرات مورداشاره

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

در این مطالعه، بیولوژیک نبودند [۶۱]. در این زمینه، مطالعات دیگری نیز در ارتباط با حذف ذرات معلق غیربیولوژیک توسط PACs انجام شده است و سپس نتیجه آن‌ها یا به طریق شبیه‌سازی یا با استفاده از شاخص‌هایی همچون CADR و ACH به ذرات بیولوژیکی نیز تعمیم داده شد [۵۷, ۵۶]. شکل ۱ کارایی PACs در کنترل کووید-۱۹ گزارش‌شده توسط مطالعات مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۱ می‌توان گفت که هرچند اثربخشی PACs در کنترل کووید-۱۹ توسط مطالعات مختلف، متفاوت گزارش شده است، اما در بیشتر این مطالعات به این موضوع اشاره شده است که PACs دارای فیلترهای چین‌خورده شبه هپا می‌توانند کارایی بالایی در کاهش بار آلودگی کووید-۱۹ داشته باشند [۴۷, ۵۰, ۶۴-۶۲]. علاوه بر فیلترهای شبه هپا، دستگاه‌های PAC مجهز به فناوری‌های دیگر همچون UVGI، پلاسما و PACs هیبریدی نیز برای کنترل کووید-۱۹ به طور موفقیت‌آمیزی مورداستفاده قرار گرفته‌اند [۵۴, ۵۵, ۵۳]. در مطالعات زیادی گزارش شده است که PACs به‌ویژه زمانی که جریان هوا و در نتیجه تعویض هوای داخل اتاق، ضعیف است، در کنترل کووید-۱۹ می‌تواند بسیار موثر باشد [۵۴, ۶۴]. همچنین در مطالعاتی نیز اشاره شده است که PACs به همراه سیستم تهویه HVAC می‌تواند اثربخشی چند برابری در کنترل کووید-۱۹ داشته باشد و سرعت حذف ذرات معلق بسیار بالاتر رود [۵۷, ۴۷]. باوجود نتایج مثبت کارایی PACs در کنترل کووید-۱۹ توسط مطالعات مختلف، Zhao و همکاران پیشنهاد کرده‌اند که استفاده از PACs در کنترل کووید-۱۹ باید با احتیاط و به‌صورت مکمل به همراه روش‌های دیگر همچون تعویض هوا، ضدعفونی هوا و ... به کار رود. این محققان همچنین توصیه می‌کنند که در این زمینه فیلترهای هپا زودتر از موعد باید تعویض گردند. به‌علاوه، دفع این فیلترها همانند زباله‌های عفونی بیمارستانی باید ا نجام گردد [۶۱]. به نظر می‌رسد که



شکل ۱.کارایی PACs در کنترل کووید-۱۹ گزارش شده توسط مطالعات گذشته

PACs مجهز به فیلترهای شبه هپای گرید ۱۳ و ۱۴ در تلفیق با لامپ‌های ضدعفونی‌کننده UV-C بهترین گزینه برای کنترل ذرات معلق بیولوژیکی است. البته بهتر است برای جلوگیری از ایجاد آلاینده‌های ثانویه، لامپ UV به طور دائمی روشن نباشد و تنها برای غیرفعال کردن ویروس‌ها و باکتری‌های به دام افتاده در مدیای فیلترها مورد استفاده قرار گیرد [۵۹].

نتیجه‌گیری

در بازار متنوع PACs، انتخاب دستگاه مناسب به‌ویژه برای افراد غیرمتخصص بسیار مشکل است. به دلیل فقدان استاندارد هماهنگ و جامع، ادعای سازندگان PACs به‌راحتی قابل راستی آزمایی نیست. یک استاندارد مناسب جهت PACs باید دارای آزمون‌های CADR ذرات، CADR گازها و بخارها (معمولاً فرمالدئید)، CCM، ضخامت و مساحت سطح فیلتر چین‌خورده، ضخامت و مساحت سطح فیلتر زغال فعال، تراز سروصدا، ازن خروجی دستگاه، MERV و SPRE ویروس‌ها و میکروارگانیسم‌ها باشد. مطالعات بیشتر در این زمینه به‌ویژه در زمینه کارایی طولانی‌مدت فیلترها، عمر فعالیت کاتالیست‌ها و SPRE ویروس‌ها موردنیاز است. آنچه با اطمینان بیشتر می‌توان گفت این است که دستگاه‌های PAC موجود در بازار (مجهز به فیلترهای شبه هپا با گرید ۱۳ و ۱۴) کارایی بالایی در حذف ذرات معلق و همچنین در کنترل کووید-۱۹ دارند. کارایی این دستگاه‌ها در حذف گازها و بخارها پایین‌تر است. دستگاه‌های مجهز به فرآیندهای PCO، UVGI، پلاسما، ازن، الکتروستاتیک و یون‌ساز باید بسیار بااحتیاط، انتخاب و استفاده شوند.

این مطالعه به بررسی دستگاه‌های PAC، فرآیندهای تصفیه هوا، استانداردهای عملکرد و کارایی این دستگاه‌ها در حذف آلودگی‌های هوای محیط‌های داخلی پرداخته است. یکی از محدودیت‌های این مطالعه این است که بیشتر مطالعاتی که درگذشته انجام شده است در اتاقک‌های آزمون بر روی دستگاه‌ها

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]
[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

انجام گرفته‌اند و تعداد مطالعات انجام‌شده در محیط واقعی کمتر است. بنابراین نتیجه‌گیری‌های انجام‌شده نیز محدود به نتایج اتاقک‌های آزمون است. هم‌چنین، به دلیل نبودِ مطالعات انجام‌گرفته در شرایط گوناگون آب و هوایی ازجمله شرایط مرطوب و شرجی، نمی‌توان نتایج این مطالعه را به همه شرایط آب و هوایی تعمیم داد. فاکتورهای مهم دیگری که می‌توان پیرامون PACs به آن توجه داشت اما در این مطالعه به دلیل محدودیت‌های عنوان مطالعه و جلوگیری از طولانی شدن بیش‌ازحد متن، موردبررسی قرار نگرفته‌اند، عبارتند از نصب، عملکرد و نگهداری PACs، هزینه‌های این دستگاه‌ها ازجمله هزینه خرید اولیه، تعویض قطعات و هزینه‌های عملیاتی، سروصدای این دستگاه‌ها و درنهایت ایمنی ساختار و عملکرد آن‌ها. البته باید گفت در مطالعات گذشته نیز به هیچ‌یک از این فاکتورها پرداخته نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسنده مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی کردستان به دلیل حمایت از این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی با کد اخلاق IR.MUK.REC.1395/408 سپاسگزاری می‌نماید.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی در انتشار نتایج این مطالعه وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

ملاحظات اخلاقی خاصی در ارتباط با این مقاله وجود ندارد.

حمایت مالی

حامی مالی این مقاله، دانشگاه علوم پزشکی کردستان در قالب طرح تحقیقاتی با کد IR.MUK.REC.1395/408 است.

REFERENCES

1. Bruce N, Perez-Padilla R, Albalak R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bull World Health Organ.* 2000;**78**(9):1078-92. PMID: 11019457
2. Duflo E, Greenstone M, Hanna R. Indoor air pollution, health and economic well-being. SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society; 2008.
3. Spengler JD, Chen Q. Indoor air quality factors in designing a healthy building. *Annu Rev Environ Resour*. 2000;**25**(1):567-600. DOI: 10.1146/annurev.energy.25.1.567
4. Carrer P, Wargocki P, Fanetti A, Bischof W, Fernandes EDO, Hartmann T, et al. What does the scientific literature tell us about the ventilation–health relationship in public and residential buildings? *Build Environ.* 2015;**94**:273-86.
5. Küpper M, Asbach C, Schneiderwind U, Finger H, Spiegelhoff D, Schumacher SJ, et al. Testing of an indoor air cleaner for particulate pollutants under realistic conditions in an office room. *Aerosol Air Qual Res*. 2019;**19**(8):1655-65. DOI: 10.4209/aaqr.2019.01.0029
6. Elsaid AM, Mohamed HA, Abdelaziz GB, Ahmed MS. A critical review of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems within the context of a global SARS-CoV-2 epidemic. *Process Saf Environ Prot*. 2021;**155**:230-61. PMID: 34566275 DOI: 10.1016/j.psep.2021.09.021
7. Curtius J, Granzin M, Schrod J. Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. *Aerosol Sci Technol*. 2021;**55**(5):586-99. DOI: 10.1080/02786826.2021.1877257
8. Peshkin MM, Beck I. A New and simplified mechanical air filter in the treatment of hay fever and Pollen Asthma. *J Lab Clin Med.* 1930;**15**:643-9.
9. Criep LH, Green MA. Air cleaning as an aid in the treatment of hay fever and bronchial asthma. *J Allergy*. 1936;**7**(2):120-33.
10. Kranz P. Indoor air cleaning for allergy purposes. *J Allergy*. 1963;**34**(2):155-64. DOI: 10.1016/0021-8707(63)90068-6
11. Tuffley R, Zorab P. Portable air purifier. *Lancet*. 1964;**283**(7330):415-6. PMID: 14092961 DOI: 10.1016/s0140-6736(64)92793-x
12. Offermann F, Sextro R, Fisk W, Grimsrud D, Nazaroff W, Nero A, et al. Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners. *Atmos Environ.* 1985;**19**(11):1761-71. DOI: 10.1016/0004-6981(85)90003-4
13. Fox RW. Air cleaners: a review. *J Allergy Clin Immunol*. 1994;**94**(2):413-6. PMID: 8077600
14. Shaughnessy RJ, Sextro RG. What is an effective portable air cleaning device? A review. *J Occup Environ Hyg*. 2006;**3**(4):169-81. PMID: 16531290 DOI: 10.1080/15459620600580129
15. Novoselac A, Siegel JA. Impact of placement of portable air cleaning devices in multizone residential environments. *Build Environ*. 2009;**44**(12):2348-56. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.03.023
16. Ongwandee M, Kruewan A. Environment B. Evaluation of portable household and in-car air cleaners for air cleaning potential and ozone-initiated pollutants. *Indoor Built Environ.* 2013;**22**(4):659-68. DOI: 10.1177/1420326X12460254
17. Zhai Z, Li H, Bahl R, Trace K. Application of portable Air purifiers for mitigating COVID-19 in large public spaces. *Buildings*. 2021;**11**(8):329. DOI: 10.3390/buildings11080329
18. Dai H, Zhao B. Reducing airborne infection risk of COVID-19 by locating air cleaners at proper positions indoor: Analysis with a simple model. *Build Environ*. 2022;**213**:108864. PMID: 35136279 DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.108864
19. Manufacturers AoHA. In-House Survey of Homes in the United States. AHAM Washington, DC; 2002.
20. World Consumer Air Treatment Systems Is, The Freedonia Group Inc.,. Global demand for consumer air treatment systems. March 2016.
21. Idziak P, Gojtowski M. Smart air purifier suitable for small public spaces. InITM Web of Conferences; 2019.
22. Harriman L, Stephens B, Brennan T. New guidance for residential air cleaners. *ASHRAE J.* 2019;**61**:14-23.
23. F-09-002 UEPAJTRE. Residential air cleaners: a technical summary. 2018.
24. Hart JF, Ward TJ, Spear TM, Rossi RJ, Holland NN, Loushin BG. Evaluating the effectiveness of a commercial portable air purifier in homes with wood burning stoves: a preliminary study. *J Environ Public Health*. 2011;**2011**:324809. PMID: 21331283 DOI: 10.1155/2011/324809
25. Mølgaard B, Koivisto AJ, Hussein T, Hämeri K. A new clean air delivery rate test applied to five portable indoor air cleaners. *Aerosol Sci Technol*. 2014;**48**(4):409-17.
26. Liu DT, Phillips KM, Speth MM, Besser G, Mueller CA, Sedaghat AR. Portable HEPA purifiers to eliminate airborne SARS-CoV-2: a systematic review. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022;**166**(4):615-22. PMID: 34098798 DOI: 10.1177/01945998211022636
27. Gunschera J, Markewitz D, Bansen B, Salthammer T, Ding H. Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]

and by-product generation. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016;**23**(8):7482-93. PMID: 26711293 DOI: 10.1007/s11356-015-5992-3
28. Afshari A, Ekberg L, Forejt L, Mo J, Rahimi S, Siegel J, et al. Electrostatic precipitators as an indoor air cleaner—A literature review. *Sustainability*. 2020;**12**(21):8774.
29. Ma D, Li S. IEC/ISO Standards of Air Cleaners. Handbook of Indoor Air Quality: Springer; 2022. p. 1-18.
30. Commission IE. IEC 60335-2-65:2002 Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-65: Particular requirements for air-cleaning appliances; 2002.
31. AFNOR. NF-B44-200:2016Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances. 2016.
32. Association JEM. JEM 1467:2013 Air Cleaners of Household and Similar Use. 2013.
33. China SAotPsRo. GB/T 18801:2015 Air Cleaner. 2015.
34. Manufacturers AoHA. ANSI/AHAM AC-1:2006 Method for measuring performance of portable household electric room air cleaners. 2006.
35. Canada NRCo. Method for testing portable air cleaners. National Research Council of Canada; 2011.
36. associassion Js. JIS C 9615:1995 (R2006), The Japanese Industrial Standard specifies for air cleaners. 2006.
37. NORDTEST. Nord test method – NT CONS 009:1985, Room air cleaners: Performance (NT CONS 009). 1985.
38. Luserne university CfIBT. A testing method for the portable room air cleaner 'Aeris'. 2016.
39. ISC. ISO 29464:2017, Cleaning of air and other gases. 2017. Available from: https://www.iso.org/standard/62766.html
40. Association KAC. SPS-KACA 002-0132:2018, indoor air cleaners. 2018.
41. China SAotPsRo. GB 21551.3-2010, Antibacterial and cleaning function for household and similar electrical appliances. 2010.
42. Institute ANs. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size; 2017.
43. Kim HJ, Han B, Kim YJ, Yoon YH, Oda T. Efficient test method for evaluating gas removal performance of room air cleaners using FTIR measurement and CADR calculation. *Build Environ*. 2012;**47**:385-93. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.06.024
44. China SAotPsRo. GB/T 18883-2002, Indoor Air Quality Standard; 2002.
45. WHO. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. World Health Organization; 2021.
46. Ren YF, Huang Q, Marzouk T, Richard R, Pembroke K, Martone P, et al. Effects of mechanical ventilation and portable air cleaner on aerosol removal from dental treatment rooms. *J Dent.* 2021;**105**:103576. PMID: 33388387 DOI: 10.1016/j.jdent.2020.103576
47. Chen W, Zhang JS, Zhang Z. Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air. *ASHRAE Trans*. 2005;**111**(1):1101-14.
48. Waring MS, Siegel JA, Corsi RL. Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners. *Atmos Environ*. 2008;**42**(20):5003-14. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.02.011
49. Capparè P, D'Ambrosio R, De Cunto R, Darvizeh A, Nagni M, Gherlone E. The usage of an air purifier device with HEPA 14 filter during dental procedures in COVID-19 pandemic: A randomized clinical trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;**19**(9): 5139. PMID: 35564533 DOI: 10.3390/ijerph19095139
50. Yang R, Yin K, Xu P, Wu P. A mixing model for comprehensive evaluation on the removal performance of portable air cleaners. InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2020.
51. Shaughnessy RJ, Levetin E, Blocker J, Sublette KL. Effectiveness of portable indoor air cleaners: sensory testing results. *Indoor Air.* 1994;**4**(3):179-88. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1994.t01-1-00006.x
52. Lee JH, Rounds M, McGain F, Schofield R, Skidmore G, Wadlow I, et al. Effectiveness of portable air filtration on reducing indoor aerosol counts: preclinical observational trials. *J Hosp Infect*. 2022;**119**:163-9. PMID: 34562547 DOI: 10.1016/j.jhin.2021.09.012
53. Conway Morris A, Sharrocks K, Bousfield R, Kermack L, Maes M, Higginson E, et al. The removal of airborne severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-cov-2) and other microbial bioaerosols by air filtration on coronavirus disease 2019 (COVID-19) surge units. *Clin Infect Dis.* 2022;**75**(1):97-101. PMID: 34718446 DOI: 10.1093/cid/ciab933
54. Corrêa TQ, Blanco KC, Vollet-Filho JD, Morais VS, Trevelin W, Pratavieira S, et al. Efficiency of an air circulation decontamination device for micro-organisms using ultraviolet radiation. *J Hosp Infect*. 2021;**115**:32-43. PMID: 34126104 DOI: 10.1016/j.jhin.2021.06.002
55. Maurais T, Kriese J, Fournier M, Langevin L, MacLeod B, Blier S, et al. Effectiveness of selected air cleaning devices during dental procedures. *Mil Med*. 2023;**188**(1-2):80-5. PMID: 34114042 DOI: 10.1093/milmed/usab225
56. Tzoutzas I, Maltezou HC, Barmparesos N, Tasios P, Efthymiou C, Assimakopoulos MN, et al. Indoor Air Quality evaluation using mechanical ventilation and portable air purifiers in an academic dentistry clinic during the COVID-19 pandemic in Greece. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;**18**(16):8886. PMID: 34444634 DOI: 10.3390/ijerph18168886
57. Liu Y, Zhao B. Size-dependent filtration efficiencies of face masks and respirators for removing SARS-CoV-2–laden aerosols. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;**42**(7):906-7. PMID: 32698929 DOI: 10.1017/ice.2020.366
58. Kapur V, Agarwal B, Baliga G, Bhambure JM, Garg V, Mathur J. ISHRAE COVID-19 guidance document for air conditioning and ventilation. *Indian Soc Heating, Refrig Air Cond Eng.* 2020;**15**.
59. Stadnytskyi V, Anfinrud P, Bax A. Breathing, speaking, coughing or sneezing: What drives transmission of SARS-CoV-2?. *J Intern Med.* 2021;**290**(5):1010-27. PMID: 34105202 DOI: 10.1111/joim.13326
60. Zhao B, Liu Y, Chen C. Air purifiers: A supplementary measure to remove airborne SARS-CoV-2. *Build Environ*. 2020;**177**:106918. PMID: 32336870 DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106918
61. Rodríguez M, Palop ML, Seseña S, Rodríguez A. Are the Portable Air Cleaners (PAC) really effective to terminate airborne SARS-CoV-2?. *Sci Total Environ.* 2021;**785**:147300. PMID: 33940414 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147300
62. Buising KL, Schofield R, Irving L, Keywood M, Stevens A, Keogh N, et al. Use of portable air cleaners to reduce aerosol transmission on a hospital coronavirus disease 2019 (COVID-19) ward. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2022;**43**(8):987-92. PMID: 34266516 DOI: 10.1017/ice.2021.284
63. Blocken B, van Druenen T, Ricci A, Kang L, van Hooff T, Qin P, et al. Ventilation and air cleaning to limit aerosol particle concentrations in a gym during the COVID-19 pandemic. *Build Environ.* 2021;**193**:107659. PMID: 33568882 DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.107659
64. Persson A, Atroshi I, Tyszkiewicz T, Hailer N, Lazarinis S, Eisler T, et al. EPOS trial: the effect of air filtration through a plasma chamber on the incidence of surgical site infection in orthopaedic surgery: a study protocol of a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *BMJ Open.* 2022;**12**(2):e047500. PMID: 35115346 DOI: 10.1136/bmjopen-2020-047500

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.10.3.156]