

بررسی عملکرد اتاقک ایزوله فشارمنفی پرتابل برای مقابله با پاندمی های عفونی در

مراکز بهداشتی - درمانی

رسول یاراحمدی^{۱*}، سمیه سلیمانی علیار^۲

۱- استاد، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. نویسنده مسئول
(Yarahmadi.r@iums.ac.ir)

۲- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

چکیده:

مقدمه و هدف: محیط های بسته مراکز بهداشتی درمانی در صورت فراهم نبودن سیستم تهویه مناسب هوا ریسک مواجهه افراد شاغل در مراکز بهداشتی- درمانی (بویژه کادر درمانی) با عوامل بیماریزای عفونی بویژه در شرایط پاندمی های عفونی از قبیل کووید ۱۹ را افزایش داده و منجر به گسترش شیوع بیماری و تلفات انسانی جبران ناپذیری می شود. از طرفی، اتاقک های فشارمنفی در بیمارستان ها به تعداد خیلی محدودی وجود دارد و در شرایط پاندمی (کووید ۱۹) پاسخگوی بحران بوجود آمده نیستند. در چنین شرایطی، بکارگیری فناوری های نوین حوزه تصفیه و کنترل آلودگی هوا در محیط های بسته از قبیل فراهم سازی شرایط حاکم در اتاقک های فشار منفی و در عین حال نیاز به فضا و هزینه کمتر و تصفیه هوای تنفسی بیمار عفونی می تواند نقش مهم و غیرقابل انکاری در مدیریت بحران و پیامدهای انسانی- اقتصادی ناشی از آن بوجود ایفا کند. **روش پژوهش:** یک اتاقک ایزوله شده (ICU) فشار منفی پرتابل مجهز به سیستم تصفیه هوای آلوده به منظور بررسی کنترل به منظور بررسی سطح عملکرد در شرایط واقعی پاندمی عفونی (کووید ۱۹) استفاده گردید. شرایط سایکرومتری محیط (دما و رطوبت)، غلظت ذرات هوابرد (مواد ذره ای کمتر از ۱۰ میکرون) مورد سنجش قرار گرفت و از تکنیک ایمپینجر به منظور بررسی وجود ژنوم ویروسی در داخل و خارج اتاقک ایزوله شده به منظور بررسی سطح عملکرد اتاقک ایزوله شده فشار منفی پرتابل در جلوگیری از گسترش ژنوم ویروسی استفاده گردید. در این مطالعه از تعداد ۲ بیمار کوویدی با Ct کمتر از ۲۰ با نظارت کامل کادر درمان برای قرارگیری در اتاقک ایزوله شده استفاده گردید. آنالیز آزمایشگاهی عوامل ویروسی با استفاده از تکنیک RT-PCR در آزمایشگاه رفرنس دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام گرفت. **نتایج و بحث:** براساس یافته های تحقیق تمامی نمونه هایی که در فواصل مشخص از منطقه تنفسی بیمار کوویدی گرفته شده بود در شرایط عدم بکارگیری اتاقک ایزوله شده مثبت و در شرایط قرارگیری در داخل اتاقک ایزوله شده منفی گزارش گردید (راندمان عملکرد ۱۰۰ درصد). در شرایط منفی نتایج حاصل از بررسی نشان داد اتاقک ایزوله فشار منفی بدون ایجاد هرگونه مزاحمت و تداخل در امور مراقبت بالینی بیمار کوویدی، قابلیت جلوگیری از پراکنش و گسترش عوامل ویروسی موجود در قطرات تنفسی و مخاط بیماری عفونی به محیط های اطراف بیمار و در نتیجه کنترل عفونت را دارد. همچنین تبادل هوای مناسب (حجم هوای تخلیه شده بر ساعت) در اتاقک ایزوله شده که معادل ۴۰ بار در ساعت بود زمان ماند عوامل ویروسی در منطقه تنفسی بیماری کوویدی را به حداقل ممکن رسانده بود. این اتاقک بخشی از یک اتاق پاک (clean room) پرتابل است که برای اولین بار مجهز به سیستم تصفیه کننده عوامل پاتوژنیک جهت بخش های عفونی بیمارستانی مجوزهای لازم از وزارت بهداشت اخذ نموده است.

کلمات کلیدی: اتاقک ایزوله فشارمنفی پرتابل، کنترل عفونت، مراکز بهداشتی- درمانی، کووید ۱۹، عوامل پاتوژنیک

¹ Isolated chamber unit

Abstract

Introduction and purpose: Closed environments of health care centers, if there is no adequate air conditioning system, increase the risk of exposure of people working in health care centers (especially medical staff) to infectious pathogens, especially in the conditions of infectious pandemics such as COVID-19. It leads to the spread of disease and irreparable human losses. On the other hand, there are a very limited number of negative pressure chambers in hospitals, and are not a response to the crisis that has arisen during the pandemic (Covid-19). In such a situation, the use of new technologies in the field of air pollution control and purification in closed environments, such as providing the prevailing conditions in negative pressure chambers, and at the same time requiring less space and cost, and purifying exhausted air can play an undeniable important role in crisis management and Human-economic consequences caused by it. **Research method:** A portable negative pressure isolated room (ICU) equipped with a polluted air purification system was used to check the control of the performance level in the field conditions of the infectious pandemic (COVID-19). The psychrometric conditions of the environment (temperature and humidity) and the concentration of airborne particles (particulate matter less than 10 microns) were measured, and the impinger technique was used to identify the presence of viral genome inside and outside the isolated chamber to check the performance level of the isolated chamber. Portable negative pressure was used to prevent the spread of the viral genome. In this study, 2 Covid -19 patients with Ct less than 20 were used under the full supervision of the treatment staff to be placed in an isolated room. Laboratory analysis of viral agents was performed using the RT-PCR technique in the reference laboratory of the Iran University of Medical Sciences. **Results and discussion:** Based on the findings of the research, all the samples taken from the respiratory area of the Covid-19 patient were reported positive in the condition of not using the isolated chamber and negative in the condition of being placed inside the isolated chamber (performance efficiency 100%). In negative conditions, the results of the investigation showed that the negative pressure isolation chamber without causing any disturbance and interference in the clinical care of the covid-19 patient, the ability to prevent the spread and spread of viral agents in the respiratory droplets and mucus of the infectious disease to the surroundings of the patient and as a result It controls the infection. Also, proper air exchange (evacuate air volume per hour) in the isolated chamber, which was equivalent to 40 times per hour, minimized the time the viral agents stayed in the respiratory area of the COVID-19 disease. This room is a part of a portable clean room, which for the first time is equipped with a purification system for pathogenic agents for hospital infectious departments and has obtained the necessary permits from the Ministry of Health.

۱. مقدمه

محیط های بسته مراکز بهداشتی درمانی در صورت فراهم نبودن سیستم تهویه مناسب هوا ریسک مواجهه افراد شاغل در مراکز بهداشتی- درمانی (پزشکان، پرستاران، تکنسین ها و سایر پرسنل) را با عوامل بیماریزای عفونی بویژه در شرایط پاندمی های عفونی از قبیل کووید ۱۹ افزایش می دهند (۱ و ۲). در سرفه فردی با بار ویروسی بالا در مایع تنفسی ($10^9 \times 2,35$ کپی در هر میلی لیتر)، ممکن است $10^5 \times 1,23$ نسخه ویروس تولید شود که می تواند پس از ۱۰ ثانیه در هوا باقی بماند، در مقایسه با ۳۸۶ نسخه یک بیمار عادی ($10^6 \times 7$ کپی در هر میلی لیتر). با این حال، استفاده از ماسک می تواند به طور موثر حدود ۹۴ درصد از ویروس هایی را که ممکن است پس از ۱۰ ثانیه در هوا باقی بمانند، را فیلتر نماید (۳). خطر ناشی از انتقال هوا مستلزم کنترل های اضافی

است (۴ و ۵). فضای ایزوله باید در طول همه‌گیری‌هایی که شامل انتقال از طریق هوا می‌شوند، گسترش یابد. یک راه انتقال کووید ۱۹ نیز از طریق هوا بوده و نیاز به ایزوله دارد هرچند راه اندازی فضای ایزوله سخت و دشوار است (۶). توصیه‌های اخیر مرکز بیماری‌های واگیر (CDC) برای پیشگیری و کنترل عفونت بیماران کووید ۱۹ در مراکز مراقبت بهداشتی شامل توصیه‌های ایزوله‌سازی و استفاده از اتاق ایزوله در هوا برای بیمارانی است که تحت روش‌های تولید آئروسول هستند. (۷) همچنین، دستورالعمل‌هایی برای آماده‌سازی برای مقابله با کووید ۱۹ در مراکز مراقبت طولانی‌مدت و خانه‌های سالمندان منتشر کرده است. در این راهنما، توصیه می‌شود که یک فضای کوهورت در این مرکز برای مراقبت از ساکنان مبتلا به کووید ۱۹ یا مشکوک در نظر گرفته شود. (۷).

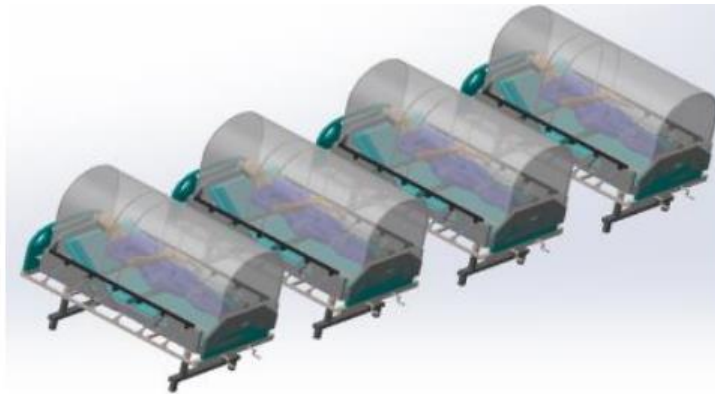
۱.۱. محدودیت‌های فضا و هزینه برای اتاق‌های فشار منفی و ضرورت بکارگیری تکنولوژی‌های با عملکرد مشابه اتاقک‌های فشار منفی

اتاق‌های فشار مثبت و منفی مؤثر بخش مهمی از محیط‌های پزشکی و تحقیقاتی هستند، زیرا به حفظ شرایط تمیز در کوچک‌ترین کلینیک تا بزرگترین بیمارستان کمک می‌کنند. در محیط‌های بیمارستانی، این اتاق‌ها از انتشار آلاینده‌های عفونی جلوگیری می‌کنند و فضاهای استریل یا محدود را حفظ می‌کنند و به‌عنوان «محیط‌های محافظ» (اتاق‌های فشار مثبت) و «اتاق‌های جداسازی عفونت‌های هوا» (اتاق‌های فشار منفی) نیز شناخته می‌شوند. (۸ و ۹). عبارتی دیگر، بهره‌مندی از اتاق‌های فشار منفی در بیمارستان‌ها برای کنترل آلاینده‌های موجود در هوای داخل اتاق (میکروب‌ها به‌عنوان مثال، ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و کپک‌ها، گرده‌ها، گازها، ترکیبات آلی فرار (VOCs)، ذرات کوچک و مواد شیمیایی و ...) رویکرد تثبیت شده‌ای برای کاهش انتقال هوابرد است. این اتاق‌ها نسبت به مناطق مجاور فشار منفی دارند تا از انتقال آلاینده‌های موجود در هوا به مناطق دیگر و آلوده کردن بیماران، کارکنان و تجهیزات استریل جلوگیری شود (۸ و ۵-۴) و از این رو، معمولاً برای مهار بیماری‌های عفونی موجود در هوا استفاده می‌شوند. با در نظر گرفتن مقیاس شیوع کووید ۱۹، ایجاد و حفظ فضاهای فشار منفی مؤثر در مراکز مراقبت بهداشتی تجمعی برای رسیدگی به هجوم بیماران، بخش مهمی از عملیات مراقبت‌های بهداشتی و مدیریت شیوع بیماری را تشکیل می‌دهد (۷). هرچند، اتاق‌های فشارمنفی در بیمارستان‌ها به تعداد خیلی محدودی وجود دارد و در شرایط پاندمی (از قبیل پاندمی کووید ۱۹) پاسخگوی بحران بوجود آمده نیستند. در چنین شرایطی، بکارگیری فناوری‌های نوین حوزه تصفیه و کنترل آلودگی هوا در محیط‌های بسته با رویکرد فراهم‌سازی شرایط حاکم در اتاقک‌های فشار منفی و در عین حال نیاز به فضا و هزینه کمتر می‌تواند نقش مهم و غیرقابل انکاری در مدیریت بحران و پیامدهای انسانی-اقتصادی ناشی از آن بوجود ایفا کند. هدف این مقاله بررسی عملکرد اتاقک ایزوله (ICU) فشار منفی پرتابل برای مهار شیوع عفونی در مراکز بهداشتی-درمانی است.

۲. روش اجرا

در بحث حذف ذرات هوابرد حامل عوامل پاتوژنیک از هوا بویژه در محیط های بسته و داخلی، در نظر گرفتن روش های متعددی پیشنهاد شده است: حذف ذرات با استفاده از تبادل هوا، یونیزاسیون هوا به منظور افزایش راندمان فیلتراسیون، تکنولوژی های مبتنی بر تکنیک های استریلیزاسیون هوای محیط داخلی و غیرفعالسازی عوامل پاتوژنیک هوابرد در محیط های داخلی بویژه عوامل ژنوم ویروسی. در تکنولوژی معرفی شده در مقاله حاضر تمامی موارد فوق در راستای به حداقل رساندن ریسک مواجهه شاغلین مراکز بهداشتی و درمانی در قالب طراحی یک اتاقک ایزوله شده با رویکرد ایجاد فشار منفی برای بیماران عفونی و یک تکنولوژی تصفیه هوای آلوده منطقه ی تنفسی بیماری عفونی در نظر گرفته شده است (۱۰). این تکنولوژی بصورت پرتابل بوده که قابلیت بکارگیری در بخش های مختلف یک مرکز بهداشتی یا درمانی را دارد.

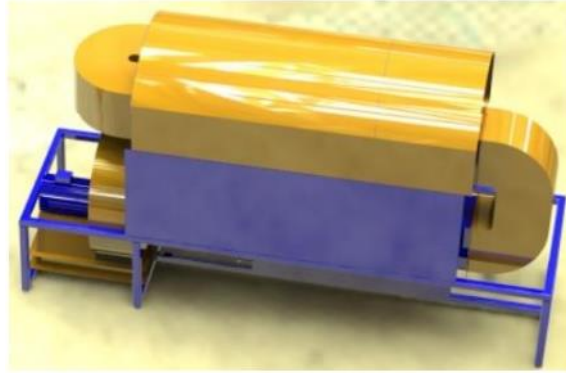
۱.۲. بخش اتاقک ایزوله شده فشار منفی: سامانه اتاقک ایزوله شده از ساختار استیل ضد زنگ و طلق شفاف دارای طول ۱۹۵ سانتی متر، عرض ۸۵ سانتی متر (ابعاد تخت بیمار) و ارتفاع تقریبی ۹۵ سانتی متر تشکیل شده که متصل به هود دوطرفه شکافدار و هود مکشی تنفسی می باشد تا با ملاحظات طراحی در برقراری تغییر هوای مناسب در ساعت (ACPH) در فضای داخل اتاقک ایزوله شده فشار منفی هوای آلوده از منطقه تنفسی فرد بیمار را جمع آوری و به سمت پکیج پالایش نهایی که در خارج از بخش عفونی قرار گرفته هدایت می کند (شکل ۱). برای این منظور ملاحظات طراحی ASHRAE و ACGIH برای تامین فشار تفاضلی مناسب، حداقل سرعت انتقال و ACPH مد نظر قرار گرفته است (۱۰).



شکل ۱. اتاقک ایزوله فشار منفی پرتابل

۲.۲. بخش تصفیه هوای آلوده جمع آوری شده حامل عوامل ویروسی SARS-Co-V2: به منظور تصفیه هوای آلوده جمع آوری شده از منطقه تنفسی بیمار قبل از رهائش به محیط خارج از بخش عفونی یک بخش تصفیه مبتنی بر مکانیسم های فیزیکوشیمیایی در نظر گرفته شده است که مبتنی بر تکنولوژی پلاسمای سرد و UVGI می باشد. این قسمت از طریق یک کانال انعطاف پذیر به طول ۱۰-۲۰ متر به هود مکشی اتاقک ایزوله شده فشار منفی متصل بوده و هیچگونه تماس فیزیکی بین آن و فرد بیمار وجود ندارد (شکل ۲).

² Air change per hour



شکل ۲. بخش تصفیه هوای الوده ی جمع اوری شده از منطقه تنفسی بیمار عفونی

تست عملکرد سامانه تحت فلوی $CFM50$ مورد تست قرار گرفت و برای اطمینان از اثربخشی عملکرد اتاقک ایزوله شده فشار منفی پرتابل در جلوگیری از گسترش ژنوم ویروسی استفاده گردید. در این مطالعه از تعداد ۲ بیمار کوویدی با Ct کمتر از ۲۰ با نظارت کامل کادر درمان برای قرارگیری در اتاقک ایزوله شده استفاده گردید و از تکنیک ایمپینجر برای نمونه برداری از هوای داخل اتاقک ایزوله شده و خروجی اتاقک (با فلوی ۲,۵ لیتر در دقیقه) استفاده گردید. آنالیز آزمایشگاهی عوامل ویروسی با استفاده از تکنیک RT-PCR (۲) در آزمایشگاه رفرنس دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. نتایج تست عملکردی اتاقک ایزوله فشار منفی پرتابل: براساس نتایج تست های عملکردی (معادل ۴۶ نمونه) سیستم مکش موضعی، شاخص های مکشی - آئرودینامیکی با هواگذر 50 cfm منطبق با روش های ACGIH که در شرایط STP انجام گرفت حدود مجاز استاندارد مقادیر بدست آمده بهینه و بالاتر از سطح استاندارد در پارامترهای فیزیکوآئرودینامیکی از قبیل سرعت ربایش، فشار تفاضلی و سرعت حداقل در کانال بود (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تست عملکردی اتاقک فشار منفی پرتابل

شاخص عملکردی	سطح استاندارد	نتایج تست عملکرد میدانی
حداقل سرعت ربایش در کانال های متصل به هود شکافدار	۲۵۰۰	۳۰۰۰
ACPH	۱۰	۴۰
فشار تفاضلی (پاسکال)	۱۵	۳۰
سرعت میانگین شکافها	۱۰۰۰	۱۲۰۰

فشار، سرعت تهویه، و فیلتراسیون نقش های حیاتی برای حفظ اتاق های ایزوله با فشار منفی هستند. به طوری که CDC تایوان توصیه کرده است که نرخ تغییر هوا در ساعت (ACH) بین ۸ تا ۱۲ ACH با فشار تفاضلی حداقل 8 Pa به فضاهای مجاور حفظ شود (۱). هود ایزولاسیون از طریق محصورسازی منطقه تنفسی بیمار عفونی و ایجاد فشار منفی در اتاقک ایزوله و هدایت هوای تنفسی بیمار عفونی به سمت شکاف های هود مکشی ریسک مواجهه تنفسی - موکوزی کادر درمان را به حداقل می رساند. فناوری اتاقک ایزوله شده فشار منفی باتوجه به اینکه ریسک مواجهه شاغلین بویژه کادر درمانی را با هوای آلوده منطقه ی تنفسی بیماری عفونی و قطرات و ذرات آلوده به مخاط تنفسی بیمار را به حداقل ممکن می رساند از گسترش عوامل بیماریزا به سایر فضاهای اتاق

و بیمارستان ها جلوگیری کرده و در نتیجه پیامدهای ناشی از گسترش عفونت به سایر بخش های بستری و اداری مراکز درمانی را می کاهد (۸-۴). انعطاف پذیری بکار رفته در طراحی و ساخت این اتاقک در عین حال که محافظت مناسبی برای کادر درمان ایجاد می کند و ریسک مواجهه با فطرات تنفسی بیمار عفونی را به حداقل ممکن می رساند بلکه تداخلی در فرایندهای مراقبتی توسط کادر درمان ایجاد نمی کند (۱۰). سیستم تهویه و مکش هوای تعبیه شده در این بخش با ایجاد فشار منفی دقیقا همانند شرایط اتاقک های فشار منفی در بیمارستان ها را دارد با این تفاوت که در این روش بدلیل ملاحظات بکارگرفته شده در مشخصات مکانیکی و آئروپنایمی می توان اتاقک های ایزوله شده را به تعداد بیشتری بصورت همزمان بکار گرفت که باعث کاهش هزینه های نصب و راه اندازی و بکارگیری این سامانه در بخش های مختلف به صورت پرتابل به کار برد.

۲.۳. نتایج آنالیز RT-PCR: براساس یافته های تحقیق تمامی نمونه هایی که از منطقه تنفسی بیمار کوویدی گرفته شده بود در شرایط عدم بکارگیری اتاقک ایزوله شده مثبت و در شرایط قرارگیری در داخل اتاقک ایزوله شده، منفی گزارش گردید (راندمان عملکرد ۱۰۰ درصد) (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج نمونه برداری از منطقه تنفسی بیمار کوویدی در شرایط بکارگیری و عدم بکارگیری اتاقک فشار منفی

نتایج RT-PCR*		محل نمونه برداری
عدم استفاده از ICU	استفاده از ICU	
+	-	۰,۲۵ سانتی متری سمت راست منطقه تنفسی
+	-	۰,۲۵ سانتی متری سمت چپ منطقه تنفسی
+	-	فاصله ۱ متری منطقه تنفسی در امتداد کمر
+	-	فاصله ۲ متری منطقه تنفسی در امتداد کمر

* نتایج منفی RT-PCR = Ct > 39 و نتایج منفی RT-PCR = Ct ≤ 39

خود پالایی سامانه بررسی شده و تصفیه هوای الوده جمع آوری شده از منطقه تنفسی قبل از رهاسازی به محیط بیرون یکی از ویژگی های این سامانه می باشد که یک تکنولوژی پاک محسوب می شود و نتایج مثبت و رضایتبخشی با حداکثر راندمان گزارش شده است. با توجه به کسب تاییدیه های لازم از مبادی ذی ربط و از جمله سازمان غذا دارو بنظر می رسد این سامانه از نظر عملکردی بتواند به صورت مثبت و اثربخشی در تمامی مراکز بهداشتی درمانی و بویژه در شرایط پاندمی ایفا نماید. از نقطه نظر هزینه ای و اقتصادی نیز در مقایسه با هزینه های نصب و راه اندازی تعمیر و همچنین نگه داری اتاق های فشار منفی هزینه های بسیار جزئی و کمتری بدنبال خواهد داشت.

۴. منابع:

1. Wang, F., Permana, I., Chaerasari, C., Lee, K., Chang, T., & Rakshit, D. (2022, January). Ventilation performance evaluation of a negative-pressurized isolation room for emergency departments. In *Healthcare* (Vol. 10, No. 2, p. 193). MDPI.
2. Yarahmadi, R., Bokharaei-Salim, F., Soleimani-Alyar, S., Moridi, P., Moradi-Moghaddam, O., Niakan-Lahiji, M., ... & Mehrzadi, S. (2021). Occupational exposure of health care personnel to SARS-CoV-2 particles in the intensive care unit of Tehran hospital. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-8.

3. Wang, Y., Xu, G., & Huang, Y. W. (2020). Modeling the load of SARS-CoV-2 virus in human expelled particles during coughing and speaking. *PLoS One*, *15*(10), e0241539
4. ASHRAE, ANSI. ASHRAE/ASHE Standard 170-2008 Ventilation of health care facilities. 2008. Available at: https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_170_2017_86529. Accessed October 13, 2020
5. Facility Guidelines Institute. (2014). *Guidelines for design and construction of hospitals and outpatient facilities*. American hospital association. American society for healthcare engineering.
6. Miller, S. L., Mukherjee, D., Wilson, J., Clements, N., & Steiner, C. (2021). Implementing a negative pressure isolation space within a skilled nursing facility to control SARS-CoV-2 transmission. *American journal of infection control*, *49*(4), 438-446.
7. Centers for Disease Control and Prevention. (2020). Preparing for COVID-19: long-term care facilities, nursing homes.
8. Al-Benna, S. (2021). Negative pressure rooms and COVID-19. *Journal of perioperative practice*, *31*(1-2), 18-23.
9. Shajahan, A., Culp, C. H., & Williamson, B. (2019). Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: A review of scientific research on hospital buildings. *Indoor Air*, *29*(2), 161-176.
10. Yarahmadi, R., Soleimani-Alyar, S., & Darvishi, M. M. (2023). Inactivation of airborne SARS-CoV-2 using NTP-UVGI hybrid process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *20*(1), 209-218.