

Review article

Investigation of the Mechanism and Possibility of Transmission of Coronaviruses through Ventilation and Wastewater Plumbing Systems in Hospitals: A Narrative Review

Yalda Hashempour¹
Fatemeh Mortezaazadeh^{2*}

- 1- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
- 2- MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

*Corresponding author: Fatemeh Mortezaazadeh, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: fmortezaade0098@gmail.com

Received: 21 December 2020

Accepted: 01 February 2021

ABSTRACT

Introduction and purpose: The hospital wastewater plumbing system and ventilation systems can be possible routes of transmission of infectious agents, such as coronaviruses. Therefore, the purpose of this study was to review the conducted studies in this regard to determine the mechanism and possibility of transmission of coronaviruses through ventilation systems and wastewater plumbing in hospitals.

Methods: In this narrative review, all the articles published in English since 2000 up to September 2020 on the possibility of transmitting coronaviruses, such as severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, through ventilation systems and wastewater plumbing in hospitals were reviewed. These studies were obtained by searching the databases, including Google Scholar, ScienceDirect, and PubMed, using several keywords, such as “Coronavirus”, “SARS-CoV-2”, “COVID-19”, “Ventilation Systems”, and “Wastewater Plumbing Systems”.

Results: Coronaviruses can enter wastewater through several sources, such as hand washing, sputum, vomit, and feces. Without proper maintenance and continuous monitoring, review, implementation, and update of building standards and practices, improper plumbing and sewage systems can continue to spread severe acute respiratory syndrome and some other infectious diseases. In addition, the factors, such as poor ventilation and recirculation, increase the potential for the viruses to spread indoors.

Conclusion: The obtained results of the current study showed that the plumbing system is not a common method of transmitting the viruses, and the most prevalent route of transmission is considered respiratory droplets. Therefore, maintaining social distance and personal hygiene are among the most effective ways to prevent the transmission of coronaviruses.

Keywords: Coronaviruses, Ventilation systems, Wastewater plumbing systems

► **Citation:** Hashempour Y, Mortezaazadeh F. Investigation of the Mechanism and Possibility of Transmission of Coronaviruses through Ventilation and Wastewater Plumbing Systems in Hospitals: A Narrative Review. Journal of Health Research in Community. Winter 2021;6(4): 86-97.

مقاله مروری

بررسی مکانیسم و امکان انتقال کروناویروس ها از طریق سیستم های تهویه و شبکه فاضلاب بیمارستان ها: مرور روایتی

چکیده

یلدا هاشم پور^۱
فاطمه مرتضی زاده^{۲*}

مقدمه و هدف: سیستم لوله کشی فاضلاب بیمارستان و سیستم های تهویه می تواند مسیرهای احتمالی انتقال عوامل عفونی از جمله کروناویروس ها باشد. هدف این مطالعه مرور مطالعات انجام شده به منظور تعیین مکانیسم و امکان انتقال کروناویروس ها از طریق سیستم های تهویه و لوله کشی شبکه فاضلاب در بیمارستان ها است.

روش کار: در این مطالعه مروری تمام مقالات چاپ شده از سال ۲۰۰۰ تا سپتامبر ۲۰۲۰ به زبان انگلیسی در زمینه امکان انتقال کروناویروس ها از جمله SARS-CoV-2 از طریق سیستم های تهویه و لوله کشی شبکه فاضلاب در بیمارستان ها بررسی شدند. این مقالات از طریق جست و جو در پایگاه های اطلاعاتی Google Scholar، Science Direct و PubMed با استفاده از کلیدواژه هایی نظیر Coronavirus، Wastewater Plumbing systems، Ventilation systems، COVID-19، SARS-CoV-2 به دست آمدند.

یافته ها: کروناویروس ها ممکن است از طریق چندین منبع مانند شستن دست، خلط، استفراغ و مدفوع به فاضلاب وارد شوند. در صورت عدم نگهداری مناسب و بدون نظارت مداوم، بررسی، اجرا و به روزرسانی استانداردها و شیوه های ساختمان، سیستم های لوله کشی نامناسب و فاضلاب می توانند به گسترش سارس و برخی بیماری های عفونی دیگر ادامه دهند. علاوه بر این، عواملی چون تهویه ضعیف و گردش مجدد هوا امکان گسترش ویروس ها را به داخل ساختمان افزایش می دهند.

نتیجه گیری: این مطالعه نشان داد سیستم لوله کشی روش رایج انتقال ویروس ها نیست و شایع ترین راه انتقال، قطرات تنفسی است؛ بنابراین، حفظ فاصله اجتماعی و رعایت بهداشت فردی از مؤثرترین راه های جلوگیری از انتقال کروناویروس ها است.

کلمات کلیدی: سیستم های تهویه، سیستم های لوله کشی فاضلاب، کروناویروس ها

۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

* نویسنده مسئول: فاطمه مرتضی زاده، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: fmortezazade0098@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳

◀ **استناد:** هاشم پور، یلدا؛ مرتضی زاده، فاطمه. بررسی مکانیسم و امکان انتقال کروناویروس ها از طریق سیستم های تهویه و شبکه فاضلاب بیمارستان ها: مرور روایتی. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۹؛ ۶(۴): ۸۶-۹۷.

مقدمه

بیشتر بیماری های عفونی نوظهور طی چند دهه گذشته از جمله ایدز، تب ابولا، آنفلوآنزای مرغی و سندرم تنفسی حاد (سارس)

عفونت SARS-CoV-2 کمک می‌کند [۷].

امکان انتقال هوابرد این بیماری نیز وجود دارد. برای بیماران تأییدشده مبتلابه SARS-CoV-2، علائم بیماری از خفیف تا شدید و مرگ است. علائم شامل تب، سرفه و تنگی نفس است [۱۰]. علاوه بر این، وجود ویروس در مدفوع بیماران مبتلابه SARS-CoV-2 تأیید شده است [۱۱]. در نتیجه امکان وجود بار قابل توجهی از ویروس در سیستم لوله‌کشی فاضلاب همراه با امکان ایجاد آئروسول‌های حاوی ویروس و انتقال آن‌ها از طریق هوا باعث می‌شود سیستم‌های لوله‌کشی فاضلاب به‌عنوان یک مسیر انتقال بالقوه برای SARS-CoV-2 در نظر گرفته شوند [۱۲]. همچنین طی شیوع بیماری سارس و سپس مرس در بیمارستان‌های هنگ‌کنگ و کره جنوبی ثابت شد که انتقال بیماری از سیستم‌های تهویه ناکارآمد بیمارستان می‌تواند منجر به عواقب ناگواری بر سلامتی شود [۱۳].

در کل، شیوع بیماری از طریق محیط ساختمان به‌درستی درک نشده است. تحقیقات پراکنده در زمینه انتقال عوامل بیماری‌زا، بیشتر روی لژیونلا پنوموفیلا در سیستم‌های تهویه مطبوع و آب‌رسانی معطوف شده است [۱۶-۱۴]. علت درک خوب انتقال لژیونلا پنوموفیلا از سیستم‌های آب‌رسانی عمدتاً به دلیل ماهیت ثابت و قابل پیش‌بینی جریان آب حامل است. جریان فاضلاب در داخل سیستم لوله‌کشی بهداشتی به نوسانات فشار منجر می‌شود و می‌تواند اتصالات لوله‌ها از جمله لوله شترگلویی (که تنها حفاظ بین سیستم لوله‌کشی بهداشتی و افراد درون ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهد) را به خطر بیندازد [۱۷]. اگر لوله شترگلویی زیر سینک ظرف‌شویی، کف حمام یا سرویس‌های بهداشتی خالی از آب باشند، عملکرد آب‌بندی خود را از دست می‌دهند و ارتباط بازی را بین سیستم لوله‌کشی بهداشتی و واحدهای مختلف درون ساختمان فراهم می‌کنند [۱۸].

آئروسول‌های بیولوژیکی به‌آسانی از طریق سیستم‌های زهکشی فاضلاب و فاضلاب‌روها به هوا منتقل می‌شوند. این

(SARS: Severe Acute Respiratory Syndrome) ناشی از انتقال بین‌گونه‌ای ویروس‌های RNA مشترک انسان و دام است. کروناویروس‌ها باعث ایجاد بیماری‌های تنفسی فوقانی و تحتانی، التهاب معده و روده و عفونت سیستم عصبی مرکزی در تعدادی از پرندگان و پستانداران از جمله انسان‌ها می‌شوند [۱]. کروناویروس سندرم تنفسی حاد در سال ۲۰۰۳ در جنوب چین شناسایی شد. سارس نوعی بیماری پنومونی است که از استان گوانگ‌دونگ چین به ۳۲ کشور انتقال یافته است. انتقال سریع با آئروسول‌ها و میزان زیاد مرگ‌ومیر، سارس را به تهدیدی جهانی تبدیل کرد [۲، ۳]. همچنین کروناویروس سندرم تنفسی خاورمیانه (مرس) (Middle East Respiratory Syndrome) نیز یک بیماری تنفسی ویروسی ایجادشده توسط بتاکروناویروس‌ها در اواخر سال ۲۰۱۲ است که اولین بار در تاجری از عربستان شناسایی شد. بیش از ۸۵ درصد از موارد گزارش‌شده تا امروز مربوط به کشورهای منطقه مدیترانه شرقی بوده است. این بیماری نوعی سندرم بالینی از موارد بدون علامت تا نارسایی تنفسی است که تا پایان ماه نوامبر ۲۰۱۹، ۲ هزار و ۴۹۴ نفر را با نرخ مرگ‌ومیر ۳۷/۱ درصد آلوده کرده است [۴-۶].

کروناویروس نوین ۲۰۱۹ (SARS-CoV-2) یک کروناویروس متعلق به دسته بتاکروناویروس است. SARS-CoV-2 سومین بیماری شناخته‌شده کروناویروس جانوری بعد از سارس و مرس است که این دو نیز به دسته بتاکروناویروس‌ها تعلق دارند [۷، ۸]. این ویروس از طریق فرد به فرد (استنشاق قطرات تنفسی آلوده، تماس نزدیک کمتر از ۶ قدم یا ۲ متر با فرد آلوده، تماس با ترشحات فرد بیمار) و تماس فرد با سطوح یا اشیای آلوده قابل انتقال است [۹]. از آنجاکه هیچ روش درمانی و واکسن مؤثری وجود ندارد، اکنون بهترین اقدامات برای کنترل عفونت، تشخیص زودرس، گزارش، جداسازی و انتشار به‌موقع اطلاعات بیماری همه‌گیر است. برای افراد، رعایت بهداشت شخصی، استفاده از ماسک مناسب، تهویه هوا و جلوگیری از حضور در مکان‌های شلوغ به جلوگیری از

از جمله SARS-CoV-2 از طریق سیستم‌های تهویه و لوله‌کشی شبکه فاضلاب در بیمارستان‌ها به منظور کمک به درک امکان انتشار کروناویروس از طریق سیستم تهویه و لوله‌کشی فاضلاب بررسی شدند. این مقالات از طریق جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Google Scholar، Science Direct و PubMed با استفاده از کلیدواژه‌هایی نظیر SARS-CoV-2، Coronavirus، Wastewater Plumbing، Ventilation systems، COVID-19 systems به دست آمدند.

یافته‌ها و بحث

ویژگی کروناویروس‌ها، دسته‌بندی و بیماری‌های ناشی از آن‌ها کروناویروس‌ها به زیرخانواده Coronavirinae از خانواده Coronaviridae و راسته Nidovirales تعلق دارند. از نظر فیلوژنتیکی به چهار جنس ویروس آلفاکروناویروس، بتاکروناویروس، گاما کروناویروس و دلتاکروناویروس تقسیم می‌شوند. آلفا و بتا کروناویروس‌ها در پستانداران یافت می‌شوند، درحالی‌که گاما و دلتا کروناویروس‌ها در پرندگان وجود دارند [۲۳، ۲۴]. هفت کروناویروس شناخته‌شده‌ای که سبب ایجاد عفونت در انسان می‌شوند شامل 229E، OC43، NL63، SARS-CoV، HKU1 و MERS-CoV و SARS-CoV-2 هستند. چهار ویروس اول فقط باعث بیماری خفیف تنفسی می‌شوند و با سرماخوردگی همراه هستند، اما سه سویه دیگر SARS-CoV، MERS-CoV و SARS-CoV-2 به ترتیب منجر به سندرم حاد تنفسی، سندرم تنفسی خاورمیانه و سندرم حاد تنفسی ۲ می‌شوند [۲۵-۲۹].

کروناویروس‌ها، ویروس‌های پوششی با یک رشته ژنوم RNA به اندازه تقریباً ۲۶ تا ۳۲ کیلوبایت هستند که بزرگ‌ترین ژنوم شناخته‌شده در بین تمام ویروس‌های RNA است [۲۳]. همچنین مستعد جهش و ترکیب مجدد طی تکثیر هستند و این تمایل، به تنوع

میکروارگانیزم‌ها می‌تواند در قطرات مایع ناشی از منابع انسانی یا سایر منابع محیطی رها شوند. تبخیر منجر به تشکیل هسته قطرات (با قطر ۱ تا ۵ میکرومتر) می‌شود که با زمان ماند طولانی در هوا، انتقال میکروارگانیزم‌ها را از طریق هوا تسهیل می‌کند [۱۹]. ارتباط بین بخش‌های مختلف شبکه لوله‌کشی فاضلاب، حساسیت سیستم نسبت به عواملی مانند استفاده بیش از حد از سرویس‌های بهداشتی یا استفاده کم از آن‌ها، دمای زیاد و غلظت آلودگی ناشی از افراد بیمار باعث نگرانی در زمینه بخش‌های قرنطینه بیمارستان می‌شود. تعداد زیاد افراد آلوده به بار ویروسی سبب بار زیاد بیماری در سیستم و در نتیجه خطر شیوع بیشتر بیماری می‌شود. قرنطینه افراد و استفاده بیش از حد از سرویس‌های بهداشتی می‌تواند به افزایش تعداد افراد آلوده در یک ساختمان منجر شود. استفاده از بخش‌های بیمارستانی به عنوان مناطق قرنطینه نیز به دلیل مرتبط بودن کل سیستم، جای نگرانی دارد؛ بنابراین، درک جریان هوا در سیستم لوله‌کشی بهداشتی داخل ساختمان به منظور ردیابی مسیرهای انتقال ضروری است [۱۲].

ارتباط بین اجزای مختلف شبکه لوله‌کشی فاضلاب می‌تواند مواجهه با SARS-CoV-2 را در داخل یا حتی بین ساختمان‌ها تسهیل کند. این نگرانی در مکان‌های پرخطر مانند بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی-درمانی بیشتر است. لذا بررسی مکانیزم‌های انتقال متقابل، پیشرفت در طراحی سیستم و نوآوری در نظارت بر سیستم از جمله تأیید سیستم لوله‌کشی (به عنوان مخزنی برای عوامل بیماری‌زا) اهمیت فراوانی دارد [۲۱، ۲۲]. از این رو، در این مقاله مروری، مکانیزم انتقال متقابل کروناویروس‌ها از طریق سیستم فاضلاب بیمارستان بررسی شد.

روش کار

در این مطالعه مروری تمام مقالات چاپ‌شده از سال ۲۰۰۰ تا سپتامبر ۲۰۲۰ به زبان انگلیسی در زمینه امکان انتقال کروناویروس‌ها

کروناویروس کمک کرده است [۳۰، ۳۱]. SARS-CoV-2 پس از سارس و مرس، سومین بیماری ویروسی کروناویروس مشترک انسان و دام است [۲۵]. در حال حاضر هیچ درمان ضدویروسی خاصی برای کروناویروس‌ها وجود ندارد. پس از همه‌گیری‌های سارس و مرس، تلاش‌های زیادی برای توسعه آنتی‌ویروس‌های جدید انجام شده است که پروتئین‌های کروناویروس‌ها، پلیمرها و پروتئین‌های ورودی را هدف قرار می‌دهند، اما مشخص نشده است که در کارآزمایی‌های بالینی کارآمد باشند [۳۳، ۳۲].

امکان انتشار کروناویروس از طریق سیستم تهویه در بخش‌های مختلف بیمارستان

انواع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا شامل ویروس آنفلوانزا، ویروس سارس، مایکوباکتریوم توبرکلوزیس و ... در هوا وجود دارند که می‌توانند در مسافت‌های طولانی قابل انتقال باشند [۳۴]. علاوه بر این، دانشمندان بر این باورند که ویروس از طریق ذرات معلق در هوا و قطراتی که در هوا می‌شود نیز انتقال می‌یابد، به خصوص وقتی فرد سرفه یا عطسه کند یا در محیط بسته صحبت کند [۳۵]. Wu و همکاران (۲۰۱۸) ضمن بررسی انتقال ویروس‌های آنفلوانزای مرغی در ذرات معلق هوای بازارهای مرغ زنده در شهر ژوگشان بیان کردند که احتمال انتقال ویروس‌های آنفلوانزای مرغی به انسان از طریق ذرات معلق در هوای بازارهای مرغ زنده وجود دارد [۳۶]. از طرفی، ویروس‌ها می‌توانند از طریق ذرات موجود در هوا که توسط انسان آزاد می‌شوند نیز پخش شوند؛ به طور مثال، شست‌وشوی توالی حاوی ذرات عفونی می‌تواند غلظت قابل توجهی از ویروس‌های موجود را وارد هوا کند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند آئروسول‌های ویروسی تولید کنند [۳۷]. تصور می‌شود انتقال SARS-CoV-2 از طریق لمس سطوح آلوده و سپس به واسطه عفونت از طریق دهان، بینی و چشم‌ها انجام می‌شود. همچنین انتقال عفونت می‌تواند از طریق استنشاق ویروس با زدم در قطرات تنفسی نیز باشد که ویروس‌های

عفونی از جمله کروناویروس‌ها می‌توانند برای مدت طولانی در خارج از ارگانیسم میزبان نیز زنده بمانند [۳۸]. Faridi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که گسترش سریع SARS-CoV-2 نشان‌دهنده انتقال کارآمدتر از فرد به فرد است و احتمالاً مسیر آن از راه هواست [۳۹].

Liu و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی غلظت RNA موجود در SARS-CoV-2 در آئروسول‌ها در بخش‌های ایزوله دو بیمارستان ووهان نیز تهویه اتاق را عاملی برای محدود کردن غلظت RNA موجود در SARS-CoV-2 در ذرات معلق در هوا دانستند [۴۰]. همچنین Guo و همکاران (۲۰۲۰) برای تعیین توزیع سندرم حاد تنفسی SARS-CoV-2 در بخش‌های بیمارستانی در ووهان، نمونه‌های هوا و سطح را آزمایش و بیان کردند که ویروس به طور گسترده در کف، سطل زباله و نرده‌های بیمارستان وجود دارد و در هوا تا فاصله ۴ متری از بیماران نیز تشخیص داده شد [۴۱].

در سال ۱۹۷۶ در هتل بلویواسترافورد (Bellevue-Stratford) در ویلادلفیای ایالات متحده آمریکا، سیستم تهویه مطبوع به عنوان علت بیماری لژیونلا پنوموفیلا شناخته شد [۴۲]. با وجود اینکه Hung در سال ۲۰۰۳ بیان کرد که تأیید اپیدمیولوژیکی و آزمایشگاهی برای احتمال انتقال بیماری از طریق ذرات معلق در هوا یا گردوغبار آلوده وجود ندارد و بسیاری از بیماران مبتلا به سارس، ویروس را از طریق مدفوع دفع می‌کنند و بیماری از طریق فاضلاب، تماس فرد به فرد و مکان‌هایی چون آسانسور و پله منتقل می‌شود، اما سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۳ اظهار کرد که لوله شترگلویی در سیستم لوله کشی و همچنین هواکش ساختمان‌ها راهی برای انتقال آئروسول‌های حاوی ویروس سارس به آپارتمان‌ها است [۴۳، ۱۸].

در این راستا Yu و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه اثربخشی تهویه برای بخش‌های عمومی بیمارستان از نظر ظرفیت حذف ویروس‌های مرس، سارس و H₁N₁ بیان کردند که محل قرارگیری

درمانی از جمله مطب‌های دندان‌پزشکی بسیار مهم است؛ زیرا راحتی حرارتی و جلوگیری از انتشار عوامل بیماری‌زای موجود در هوا را برای بیماران و کارمندان مراقبت‌های بهداشتی فراهم می‌کند [۴۹، ۵۰]. سیستم‌های تهویه هوا به‌عنوان اقدامی اولیه برای کنترل بیماری‌های عفونی به کار می‌روند، اما اگر به‌درستی استفاده نشوند، ممکن است در انتقال و شیوع بیماری‌های موجود در هوا نقش داشته باشند [۴۷]. امروزه عفونت‌های ناشی از هوا به‌عنوان مسیر مهم انتقال بیماری برای طیف گسترده‌ای از عوامل بیماری‌زا شناخته شده است و تهویه به‌عنوان یک عامل اصلی در رفع این خطر محسوب می‌شود [۵۱].

Li و همکاران (۲۰۰۷) شواهد کافی از ارتباط بین تهویه، کنترل جهت گردش هوا در ساختمان‌ها و انتقال و گسترش بیماری‌های عفونی یافتند [۵۲]. Yu و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان کردند با افزایش تعداد افرادی که به محل کار بازمی‌گردند، احتمال عفونت ناشی از انتقال آئروسول از طریق سیستم‌های تهویه مطبوع در حال افزایش است؛ بنابراین، تعیین نحوه جلوگیری از انتشار ویروس در فضاهای دارای تهویه مطبوع بسیار ضروری است [۳۵]. افراد مستعد با تماس ذرات عفونی در سطوح آلوده می‌توانند عوامل بیماری‌زا را از طریق دست به غشاهای مخاطی خود منتقل کنند و به عفونت تنفسی منجر شوند [۵۳]. در فضاهای پرتراکم، استفاده از تهویه به‌ویژه در محیط بیمارستانی که تعداد افراد بیمار در آن زیاد است، اهمیت ویژه‌ای دارد؛ بنابراین، طراحی تهویه مناسب نقش مهمی در کنترل شیوع بیماری‌های موجود در هوا دارد [۵۴]. از طرفی، تهویه طبیعی هزینه کمی دارد. بازکردن پنجره‌ها و درها تهویه طبیعی را به حداکثر می‌رساند، به‌طوری‌که خطر ابتلا به آلودگی هوا را به‌مراتب کمتر از سیستم‌های تهویه مکانیکی پرهزینه می‌کند [۵۵].

در مطالعات انجام‌شده در پادگان‌ها، زندان‌ها، بیمارستان‌ها و ساختمان‌های اداری بیان شده است عواملی چون تهویه ضعیف و گردش مجدد هوا، امکان گسترش ویروس را افزایش می‌دهد؛

بیمار بر خطر عفونت برای سایر کارکنان مراقبت‌های بهداشتی در همان بخش بیمارستان تأثیر می‌گذارد و افزایش نرخ تغییر هوا می‌تواند خطر عفونت را کاهش دهد. همچنین به‌منظور کاهش احتمال آلودگی در بخش‌های بیمارستان، نصب لامپ‌های اشعه میکروبی ماورا بنفش (UVGI) را برای تخریب اسیدهای نوکلئیک و ویروسی توصیه کردند [۱۳]. مطالعات دیگری نیز گزارش دادند ۱۰ دقیقه تابش نور UVC، ۹۹۹/۹۹ درصد از مرس و سارس را غیرفعال می‌کند [۴۴]. با این وجود، اگر ساکنان اتاق در معرض نور انرژی زیاد قرار بگیرند، تابش میکروب‌کشی UV خطرناک خواهد بود. به همین دلیل، UVGI با خیال راحت در مسیر تهویه‌های مکانیکی نصب می‌شود تا به‌طور غیرمستقیم هوا را تصفیه کند [۴۵، ۴۶].

Correia و همکاران (۲۰۲۰) نیز مانند مطالعه پیشین سیستم‌های تهویه را به‌عنوان راهی برای انتقال و شیوع بیماری‌های عفونی مانند سرخک، سل، آبله‌مرغان، آنفلوآنزا، آبله و سارس گزارش کردند [۴۷]. Booth و همکاران (۲۰۰۵) نیز در نمونه‌برداری از هوای اتاق بیماران مبتلا به سارس طی شیوع این بیماری در تورنتو بیان کردند که چندین نمونه سواب PCR مثبت در سطوح لمس‌شده (میز، تخت و کنترل تلویزیون) در اتاق بیماران مبتلا به سارس و ایستگاه پرستاران به‌دست آمد که تأییدکننده تولید آئروسول ویروسی توسط بیمار مبتلا به سارس و نشان‌دهنده احتمال انتقال قطرات موجود در هوا است که بر لزوم محافظت تنفسی کافی و همچنین وجود تهویه مطبوع تأکید می‌کند [۴۸].

تهویه مناسب سلامت بیماران را ارتقا می‌دهد و محیط کار بهتری را برای کارمندان فراهم می‌کند؛ بنابراین، کیفیت کلی مراقبت‌های بهداشتی می‌تواند تا حدودی با بهبود تهویه بهبود یابد [۴۹]. ویژگی‌های اپیدمیولوژیک عفونت‌های کروناویروس سارس نشان می‌دهد انتقال آن از طریق تماس مستقیم و انتقال هوا از طریق قطرات بزرگ تنفسی رخ داده است [۴۸]. تهویه در مراکز

مانند ویروس مرس که به دلیل تماس با میزبان آلوده و همچنین تهویه نامناسب در بیمارستان‌ها، به سرعت میان بیماران، کارکنان بیمارستان و پرستاران گسترش می‌یابد [۵۷، ۵۶]. همچنین هنگامی که اکسیژن از طریق سوند بینی یا ماسک خارج می‌شود، می‌تواند پراکندگی ویروس را افزایش دهد و متعاقباً خطر ابتلا به عفونت‌های بیمارستانی را افزایش دهد [۵۸]. به منظور کاهش پراکندگی ویروس در هوا، کارکنان پزشکی باید هنگام ارائه درمان از تجهیزات محافظ شخصی استفاده کنند. همچنین بیماران هنگام دریافت اکسیژن باید از ماسک پزشکی استفاده کنند [۵۸]. نتایج مطالعات Yu و همکاران (۲۰۰۵) و Chen و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد هوا مسیر مهم انتقال سارس است [۶۰، ۵۹]. مطالعات یادشده اهمیت تهویه را خصوصاً در اماکن عمومی و بهداشتی درمانی چون بیمارستان نشان می‌دهند.

امکان انتشار کروناویروس از طریق سیستم لوله کشی فاضلاب در بخش‌های مختلف بیمارستان

کروناویروس‌ها ممکن است از طریق چندین منبع مانند شستن دست، خلط، استفراغ و مدفوع به فاضلاب وارد شوند [۶۱]. در صورت عدم نگهداری مناسب و بدون نظارت مداوم، بررسی، اجرا و به‌روزرسانی استانداردها و شیوه‌های ساختمان، سیستم‌های لوله کشی نامناسب و فاضلاب می‌توانند به گسترش سارس و برخی از بیماری‌های دیگر ادامه دهند. لوله کشی مناسب ابزاری مهم برای توقف انتقال قطرات مدفوع فاضلاب از اقدامات بهداشتی عمومی است که با کمترین هزینه قابل استفاده است [۶۲]. کروناویروس‌ها برای مدت طولانی در آب و فاضلاب باقی می‌مانند [۶۳]. سیستم زهکشی ساختمان (Building Drainage System) تمام

قسمت‌های ساختمان را به هم متصل می‌کند [۲۲]. شواهد کمی نشان می‌دهد انتقال از طریق سیستم زهکشی ممکن است و تحقیقات کمی تاکنون در این باره صورت گرفته است [۲۱].

گزارش سازمان بهداشت جهانی بیان می‌کند که سیستم لوله کشی بهداشتی از مسیرهای انتقال ویروس است [۱۷]. ویروس‌ها می‌توانند برای چند ساعت تا چند روز در فاضلاب زنده بمانند [۶۱]. Kang و همکاران بیان کردند که ذرات ویروسی در جریان هوا، در لوله‌ها حمل و از طریق سیستم فاضلاب به داخل ساختمان وارد می‌شوند [۶۵]. Gormley و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند عوامل بیماری‌زای منتقل شده از بیماران به سیستم زهکشی ساختمان امکان گسترش در نتیجه جریان ناپایدار هوا را در سیستم‌های زهکشی ساختمان دارند [۲۱]. سازمان بهداشت جهانی نیز لوله شترگویی را در سیستم لوله کشی مسیری برای ورود قطره‌های پر از ویروس می‌داند که با لمس سطوح آلوده، عفونت گسترش می‌یابد [۶۵]. به همین دلیل استفاده از لوله کشی استاندارد و بهداشتی را توصیه می‌کند تا از ورود فاضلاب‌ها به سیستم لوله کشی فاضلاب جلوگیری کند [۶۴].

در این راستا Gormley و همکاران (۲۰۱۷) مسیر انتقال در سیستم لوله کشی بهداشتی را عاملی برای انتقال عوامل بیماری‌زا از یک قسمت ساختمان به قسمت دیگر بیان کردند و اظهار داشتند که آزمایش‌ها در یک سیستم لوله کشی بهداشتی دو طبقه نشان داد تلاطم ناشی از تخلیه توالی می‌تواند سبب آئروسول شدن یک پاتوژن و سپس انتقال آن از طریق جریان هوا و فن توالی شود [۱۷]. جدول ۱ مطالعات صورت گرفته در زمینه انتقال کروناویروس‌ها از طریق سیستم تهویه و لوله کشی فاضلاب را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مطالعات انجام شده در زمینه انتقال کروناویروس‌ها از طریق سیستم تهویه و لوله کشی فاضلاب

ردیف	محل مطالعه	عامل بیمار	هدف و مکان تحقیق	یافته و شیوه انتشار	منبع
۱	-	کروناویروس‌ها	مقاله از نوع «دیدگاه سردبیر»	*هنگام استفاده از دوش در خانه، خطر تولید آئروسول از قطرات حاوی کروناویروس‌ها از سر دوش وجود دارد.	[۶۶]

ادامه جدول ۱.

۲	دو بیمارستان در ووهان	SARS-CoV-2	اندازه‌گیری RNA ویروسی در آئروسول‌ها در مناطق مختلف دو بیمارستان	※ با رعایت تمام اقدامات احتیاطی موجود برای جلوگیری از انتشار ویروس از طریق کارکنان یا تجهیزات، RNA ویروسی هنوز در مناطقی از بیمارستان تشخیص داده می‌شد که از طریق جو سیستم تهویه می‌توان به آن رسید. ※ با افزایش تعداد افراد در محل کار، احتمال نقای ویروس کووید-۱۹ در محیط داخلی از طریق سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی در حال افزایش است.	[۴۰]
۳	مقاله مروری	SARS-CoV-2	مطالعه محیط داخلی SARS-CoV-2	※ استاندارد تهویه مراکز بهداشتی و مراقبت‌های مسکونی دامنه ۲۰ تا ۶۰ درصد رطوبت نسبی را مجاز می‌داند، اما حفظ رطوبت نسبی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد در محیط داخلی به کاهش نقای ویروس کووید-۱۹ در محیط داخلی کمک می‌کند.	[۶۷]
۴	-	مرس	-	※ سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) به‌عنوان معیار کنترل عفونت اولیه استفاده می‌شود؛ اما اگر به‌درستی استفاده نشوند، ممکن است موجب گسترش بیماری‌های منتقل‌شده از هوا شود. ※ احتمال خروج آئروسول ویروسی از طریق سیستم تهویه بیمارستان‌های پذیرای بیماران کووید به محیط وجود دارد.	[۴۷]
۵	مقاله مروری	SARS-CoV-2	-	※ امکان انتقال کووید به دلیل نقص سیستم لوله‌کشی و تهویه، خصوصاً در ساختمان‌های بلند، قابل چشم‌پوشی نیست.	[۶۸]
۶	مقاله مروری	-	-	※ تهویه هوای داخلی می‌تواند به شیوع بیماری عفونی منتقل‌شده از هوا در بیمارستان‌ها چون سارس کمک کند.	[۶۹]
۷	یک بخش عمومی شش تخت‌خوابی از بیمارستان‌های هنگ‌کنگ	مرس، سارس و ویروس آنفلوآنزای H ₁ N ₁	شبیه‌سازی جریان هوا و پراکندگی ویروس داخل بخش	※ محل قرارگیری بیمار آلوده، بر افزایش خطر انتقال عفونت برای سایر افراد و کارکنان مراقبت‌های بهداشتی در همان بخش بیمارستان تأثیر می‌گذارد و افزایش نرخ تغییر هوا در بخش می‌تواند خطر عفونت را از طریق تماس مستقیم و استنشاق کاهش دهد.	[۱۳]
۸	ساخت پایلوت سیستم لوله‌کشی بهداشتی	سودوموناس پوتیدا	کشت نمونه‌های هوا و سطوح بر صفحات آگار	※ پاتوژن‌ها در ذرات معلق هوا وارد لوله شترگلوبی می‌شوند و امکان انتقال پاتوژن‌ها و آئروسول‌ها را در سیستم‌های لوله‌کشی بهداشتی در ساختمان‌های دارای بار عفونی زیاد مانند بیمارستان‌ها نشان می‌دهد.	[۱۷]
۹	-	سارس	※ شبیه‌سازی مسیر انتقال با مدل‌سازی عددی ※ آزمایش‌های میدانی	※ عوامل بیماری‌زای بالقوه مضر که از بیماران به سیستم زهکشی ساختمان وارد می‌شوند، می‌توانند در نتیجه جریان ناپایدار هوا در سیستم‌های زهکشی ساختمان و هرگونه نقص در سیستم آب‌بندی گسترش یابند. ※ شواهدی نیز نشان می‌دهد انتقال از طریق سیستم زهکشی ممکن است رخ دهد، اما بسیار اندک است.	[۲۱]
۱۰	بیمارستانی در هنگ‌کنگ	سارس	※ مدل‌سازی اثر جریان هوای دوطرفه برای تجزیه و تحلیل در زمینه انتقال سارس ※ انجام آزمایش‌ها در سیستم تهویه مکانیکی برای تأیید مدل‌سازی	※ توزیع هوا در انتقال سارس طی شیوع بزرگ بیمارستانی نشان داد اثر جریان دوطرفه هوا در دهانه‌ها (Openings) نقش مهمی در انتقال بیوآئروسول‌ها دارد. ※ مهم‌ترین دلیل برای اثر جریان دوطرفه هوا می‌تواند اثر فشار حرارتی باشد. ※ کاهش سطح دهانه‌های بین اتاقک‌ها و راهرو (Cubicles and Corridor) (مثلاً نصب پرده در دهانه‌ها) ممکن است راه‌حلی اقتصادی در طراحی بخش باشد.	[۶۰]
۱۱	بیمارستانی در چین	سارس	شبیه‌سازی با روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی [CFD: Computational Fluid Dynamics] و مدل چند منطقه‌ای Multi-Zone Model	※ میزان تهویه ایمن برای از بین بردن عفونت ویروسی موجود در هوا این است که هوای ساطع‌شده از یک بیمار مبتلا به سارس با هوای پاک ۱۰ هزار بار رقیق شود. ※ رقت در حجم کمتر برای محافظت از افراد غیرآلوده در مقابل سارس کافی نیست و خطر عفونت بسیار زیاد است.	[۷۰]

ادامه جدول ۱.

۱۲	مقاله مروری	سل، سرخک، آنفلوانزا، واریسلا، آبله، سارس	جست‌وجو در پایگاه داده‌های ScienceDirect و WOS، Medline	*شواهد کافی برای اثبات ارتباط بین تهویه و کنترل جهت جریان هوا در ساختمان‌ها و انتقال و انتشار بیماری‌های عفونی مانند سرخک، سل، آبله‌مرغان، سیاه‌زخم، آنفلوانزا، آبله و سارس وجود دارد.	[۵۲]
۱۳	هنگ‌کنگ	سارس	تهیه‌شده توسط کارگروه اپیدمیولوژی سندرم تنفسی حاد و شرکت‌کنندگان در نشست جهانی اپیدمیولوژی سارس	*لوله شترگلوبی در سیستم لوله‌کشی بهداشتی، مجرای برای انتقال آئروسول‌های حاوی ویروس و هوای آلوده به داخل آپارتمان‌هاست. *روشن‌بودن هواکش حمام سبب ایجاد فشار منفی و ورود این آئروسول‌های زیستی به داخل منازل می‌شود.	[۱۸]
۱۴	هنگ‌کنگ و گوانگ‌دونگ	سارس	مصاحبه، گزارش‌های مطبوعاتی، مصاحبه‌های شخصی و وب‌سایت‌های مربوط به سارس	*تخلیه کف حمام با لوله شترگلوبی مسیری را فراهم می‌کند که از طریق آن ساکنان در تماس با قطرات کوچک حاوی ویروس قرار می‌گیرند. این قطرات از طریق تولید فشار منفی توسط فن‌های خروجی، وارد تخلیه کف حمام می‌شوند. بخار آب تولیدشده هنگام دوش گرفتن و شرایط مرطوب حمام نیز می‌تواند تشکیل قطرات آب را تسهیل کند و قطرات آلوده به ویروس می‌توانند به راحتی روی کف، لوازم بهداشتی و سایر تجهیزات حمام رسوب کنند. *محققان معتقدند تخلیه مایعات آلوده از یک طبقه حمام می‌تواند ویروس را به سیستم فاضلاب هدایت کند.	[۴۳]
۱۵	مرکز مراقبت‌های بهداشتی تورنتو	سارس	بررسی آلودگی محیطی در واحدهای بیماران مبتلا به سارس با نمونه‌برداری هوا	*تولید آئروسول ویروسی توسط بیمار مبتلا به سارس نشان‌دهنده امکان انتقال قطرات موجود در هواست که بر نیاز به محافظت تنفسی کافی و همچنین اقدامات دقیق بهداشت سطح تأکید می‌کند.	[۴۸]

نتیجه‌گیری

نادر است و شایع‌ترین راه ابتلا به کروناویروس، قطرات تنفسی فرد مبتلاست، حفظ فاصله اجتماعی و رعایت بهداشت فردی از مؤثرترین راه‌های جلوگیری از انتقال کروناویروس‌هاست.

قدردانی

مطالعه حاضر با کد IR.MAZUMS.REC.1399.7663 در کمیته اخلاق معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران تصویب شده است. نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران به‌خاطر حمایت از این طرح اعلام می‌دارند.

به دلیل اینکه کروناویروس‌ها، خصوصاً SARS-CoV-2 می‌تواند از طریق عطسه، سرفه، صحبت کردن و ... فرد آلوده به فضای اطراف منتشر شود، تهویه هوا و لوله‌کشی استاندارد از ملزومات جلوگیری از انتقال کروناویروس‌هاست. تماس با قطرات تنفسی حاوی ویروس که روی سطوح پخش شده‌اند نیز می‌تواند افراد را آلوده کند. کروناویروس جدید قادر است برای چند روز روی سطوح زنده بماند. به این ترتیب شستن دست‌ها پس از لمس سطوح اماکن عمومی بسیار مهم است. تعداد عوامل بیماری‌زا در فضاهای محصور می‌تواند به میزان قابل توجهی افزایش یابد؛ بنابراین، تهویه مناسب خطر عفونت را کاهش می‌دهد. از آنجایی که امکان انتقال کروناویروس‌ها از طریق لوله‌کشی ساختمان روش رایجی برای انتقال آن‌ها نیست و ابتلا به این بیماری از این طریق

References

1. Vijaykrishna D, Smith GJ, Zhang JX, Peiris J, Chen H, Guan Y. Evolutionary insights into the ecology of coronaviruses. *J Virol* 2007; 81(8): 4012-20.
2. Thiel V, Ivanov KA, Putics A, Hertzog T, Schelle B, Bayer S, et al. Mechanisms and enzymes involved in SARS coronavirus genome expression. *J Gen Virol* 2003; 84(9): 2305-15.
3. Luk HK, Li X, Fung J, Lau SK, Woo PC. Molecular epidemiology, evolution and phylogeny of SARS coronavirus. *Infect Genet Evol* 2019; 71: 21-30.
4. Farooq HZ, Davies E, Ahmad S, Machin N, Hesketh L, Guiver M, et al. Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)-Surveillance and testing in North England from 2012 to 2019. *Int J Infect Dis* 2020; 93: 237-44.
5. Amer H, Alqahtani AS, Alzoman H, Algerian N, Memish ZA. Unusual presentation of Middle East respiratory syndrome coronavirus leading to a large outbreak in Riyadh during 2017. *Am J Infect Control* 2018; 46(9): 1022-5.
6. Hemida MG, Alnaeem A. Some one health based control strategies for the Middle East respiratory syndrome coronavirus. *One Health* 2019; 8: 100102.
7. Chen Y, Liu Q, Guo D. Emerging coronaviruses: genome structure, replication, and pathogenesis. *J Med Virol* 2020; 92(4): 418-23.
8. Tavakoli A, Vahdat K, Keshavarz M. Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19): an emerging infectious disease in the 21st Century. *Iran South Med J* 2020; 22(6): 432-50 [In Persian].
9. Zhou W. The coronavirus prevention handbook: 101 science-based tips that could save your life. Wuhan, China: Hubei Science and Technology Press; 2020.
10. Yang Y, Lu Q, Liu M, Wang Y, Zhang A, Jalali N, et al. Epidemiological and clinical features of the 2019 novel coronavirus outbreak in China. *MedRxiv* 2020; 2(10): 1-20.
11. Holshue ML, DeBolt C, Lindquist S, Lofy KH, Wiesman J, Bruce H, et al. First case of 2019 novel coronavirus in the United States. *N Engl J Med* 2020; 382(10): 929-36.
12. Gormley M, Aspray TJ, Kelly DA. COVID-19: mitigating transmission via wastewater plumbing systems. *Lancet Glob Health* 2020; 8(5): e643.
13. Yu H, Mui K, Wong L, Chu H. Ventilation of general hospital wards for mitigating infection risks of three kinds of viruses including Middle East respiratory syndrome Coronavirus. *Indoor Built Environ* 2017; 26(4): 514-27.
14. Moore G, Walker J. Presence and control of *Legionella pneumophila* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilms in hospital water systems. *Biofilms in infection prevention and control*. Cambridge: Academic Press; 2014. P. 311-37.
15. Moore G, Stevenson D, Thompson KA, Parks S, Ngabo D, Bennett AM, et al. Biofilm formation in an experimental water distribution system: the contamination of non-touch sensor taps and the implication for healthcare. *Biofouling* 2015; 31(9-10): 677-87.
16. Weekes LC, Weekes DM. *Legionella* management for building water systems. *Ashrae J* 2017; 59(11): 76-8.
17. Gormley M, Aspray TJ, Kelly DA, Rodriguez-Gil C. Pathogen cross-transmission via building sanitary plumbing systems in a full scale pilot test-rig. *PloS One* 2017; 12(2): e0171556.
18. World Health Organization. Consensus document on the epidemiology of severe acute respiratory syndrome (SARS). Geneva: World Health Organization; 2003.
19. Gormley M, Kelly D, Aspray TJ. Mechanisms of bio-aerosol transmission in sanitary plumbing system airflows. 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate, Ghent, Belgium; 2016.
20. Riley S, Christophe F, Christl A. Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: impact of public health interventions. *Science* 2003; 300(5627): 1961-6.
21. Gormley M, Swaffield J, Sleight P, Noakes C. An assessment of, and response to, potential cross-contamination routes due to defective appliance water trap seals in building drainage systems. *Build Serv Eng Res Technol* 2012; 33(2): 203-22.
22. Gormley M, Templeton K, Kelly D, Hardie A. Environmental conditions and the prevalence of norovirus in hospital building drainage system wastewater and airflows. *Build Serv Eng Res Technol* 2014; 35(3): 244-53.
23. Zhao X, Ding Y, Du J, Fan Y. 2020 update on human coronaviruses: one health, one world. *Med Novel Technol Devices* 2020; 8: 100043.
24. Cong Y, Verlhac P, Reggiori F. The interaction between Nidovirales and Autophagy components. *Viruses* 2017; 9(7): 182.
25. He C, Qin M, Sun X. Highly pathogenic coronaviruses:

- thrusting vaccine development in the spotlight. *Acta Pharm Sin B* 2020; 10(7): 1175-91.
26. Lin LY, Tran TH. Coronaviruses pandemics: can neutralizing antibodies help? *Life Sci* 2020; 255: 117836.
27. Hurst KR, Koetzner CA, Masters PS. Identification of in vivo-interacting domains of the murine coronavirus nucleocapsid protein. *J Virol* 2009; 83(14): 7221-34.
28. Woo PC, Lau SK, Lam CS, Lau CC, Tsang AK, Lau JH, et al. Discovery of seven novel Mammalian and avian coronaviruses in the genus deltacoronavirus supports bat coronaviruses as the gene source of alphacoronavirus and betacoronavirus and avian coronaviruses as the gene source of gammacoronavirus and deltacoronavirus. *J Virol* 2012; 86(7): 3995-4008.
29. Su S, Wong G, Shi W, Liu J, Lai AC, Zhou J, et al. Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses. *Trends Microbiol* 2016; 24(6): 490-502.
30. Xian Y, Zhang J, Bian Z, Zhou H, Zhang Z, Lin Z, et al. Bioactive natural compounds against human coronaviruses: a review and perspective. *Acta Pharm Sin B* 2020; 10(7): 1163-74.
31. Zeng T, Zhang Y, Li Z, Liu X, Qiu B. Predictions of 2019-ncov transmission ending via comprehensive methods. *Arxiv Preprint Arxiv* 2020; 2002: 04945.
32. Chan JF, Chan KH, Kao RY, To KK, Zheng BJ, Li CP, et al. Broad-spectrum antivirals for the emerging Middle East respiratory syndrome coronavirus. *J Infect* 2013; 67(6): 606-16.
33. Wang Y, Sun Y, Wu A, Xu S, Pan R, Zeng C, et al. Coronavirus nsp10/nsp16 methyltransferase can be targeted by nsp10-derived peptide in vitro and in vivo to reduce replication and pathogenesis. *J Virol* 2015; 89(16): 8416-27.
34. Kim SW, Ramakrishnan M, Raynor PC, Goyal SM. Effects of humidity and other factors on the generation and sampling of a coronavirus aerosol. *Aerobiologia* 2007; 23(4): 239-48.
35. Yu L, Peel GK, Cheema FH, Lawrence WS, Bukreyeva N, Jinks CW, et al. Catching and killing of airborne SARS-CoV-2 to control spread of COVID-19 by a heated air disinfection system. *Mater Today Phys* 2020; 15: 100249.
36. Wu Y, Lin J, Yang S, Xie Y, Wang M, Chen X, et al. The molecular characteristics of avian influenza viruses (H9N2) derived from air samples in live poultry markets. *Infect Genet Evol* 2018; 60: 191-6.
37. Verreault D, Moineau S, Duchaine C. Methods for sampling of airborne viruses. *Microbiol Mol Biol Rev* 2008; 72(3): 413-44.
38. Qu G, Li X, Hu L, Jiang G. An imperative need for research on the role of environmental factors in transmission of novel coronavirus (COVID-19). *Environ Sci Technol* 2020; 54(7): 3730-2.
39. Faridi S, Niazi S, Sadeghi K, Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, et al. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Sci Total Environ* 2020; 725: 138401.
40. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* 2020; 582(7813): 557-60.
41. Guo ZD, Wang ZY, Zhang SF, Li X, Li L, Li C, et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerg Infect Dis* 2020; 26(7): 1583-91.
42. Newsom S. Legionnaires disease-1. The Philadelphia outbreak. *Br J Infect Control* 2008; 9(3): 18-21.
43. Hung LS. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? *J R Soc Med* 2003; 96(8): 374-8.
44. Bedell K, Buchaklian AH, Perlman S. Efficacy of an automated multiple emitter whole-room ultraviolet-C disinfection system against coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2016; 37(5): 598-9.
45. Nardell EA, Bucher SJ, Brickner PW, Wang C, Vincent RL, Becan-McBride K, et al. Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: results from the Tuberculosis Ultraviolet Shelter Study. *Public Health Rep* 2008; 123(1): 52-60.
46. Miller SL, Linnes J, Luongo J. Ultraviolet germicidal irradiation: future directions for air disinfection and building applications. *Photochem Photobiol* 2013; 89(4): 777-81.
47. Correia G, Rodrigues L, Silva M, Gonçalves T. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med Hypotheses* 2020; 1441: 109781.
48. Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L, et al. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *J Infect Dis* 2005; 191(9): 1472-7.
49. Yau YH, Chandrasegaran D, Badarudin A. The ventilation of multiple-bed hospital wards in the tropics: a review. *Build Environ* 2011; 46(5): 1125-32.

50. Lin Y. Ventilation in the dental clinic: an effective measure to control droplets and aerosols during the coronavirus pandemic and beyond. *Chin J Dent Res* 2020; 23(2): 105-7.
51. Gilkeson C, Camargo-Valero M, Pickin L, Noakes C. Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Build Environ* 2013; 65: 35-48.
52. Li Y, Leung GM, Tang J, Yang X, Chao C, Lin JZ, et al. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment-a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air* 2007; 17(1): 2-18.
53. Sze-To GN, Yang Y, Kwan JK, Yu SC, Chao CY. Effects of surface material, ventilation, and human behavior on indirect contact transmission risk of respiratory infection. *Risk Anal* 2014; 34(5): 818-30.
54. Bolashikov ZD, Melikov AK, Barova M. Exposure to exhaled air from a sick occupant in a two-bed hospital room with mixing ventilation: effect of posture of doctor and air change rate. *Proceedings of 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Lyngby, Denmark; 2013.
55. Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticona E, Pan W, et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLoS Med* 2007; 4(2): e68.
56. Morawska L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air* 2006; 16(5): 335-47.
57. Cho J. Investigation on the contaminant distribution with improved ventilation system in hospital isolation rooms: Effect of supply and exhaust air diffuser configurations. *Appl Therm Eng* 2019; 148: 208-18.
58. Guan L, Zhou L, Zhang J, Peng W, Chen R. More awareness is needed for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2019 transmission through exhaled air during non-invasive respiratory support: experience from China. *Eur Respir J* 2020; 55(3): 2000352.
59. Yu I, Wong T, Chiu Y, Lee N, Li Y. Spatio-temporal analysis of SARS among hospital inpatients. *Clin Infect Dis* 2005; 40: 1237-43.
60. Chen C, Zhao B, Yang X, Li Y. Role of two-way airflow owing to temperature difference in severe acute respiratory syndrome transmission: revisiting the largest nosocomial severe acute respiratory syndrome outbreak in Hong Kong. *J R Soc Interface* 2011; 8(58): 699-710.
61. Amoah ID, Kumari S, Bux F. Coronaviruses in wastewater processes: Source, fate and potential risks. *Environ Int* 2020; 143: 105962.
62. Inadequate plumbing systems probably contributed to SARS transmission. *Wkly Epidemiol Rec* 2003; 78(42): 371-2.
63. Casanova L, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Survival of surrogate coronaviruses in water. *Water Res* 2009; 43(7): 1893-8.
64. World Health Organization. Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance. Geneva: World Health Organization; 2020.
65. Gormley M. SARS-CoV-2: the growing case for potential transmission in a building via wastewater plumbing systems. *Ann Intern Med* 2020; 173(12): 1020-1.
66. Naddeo V, Liu H. Editorial perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond? *Environ Sci Water Res Technol* 2020; 6(5): 1213-6.
67. Dietz L, Horve PF, Coil DA, Fretz M, Eisen JA, Van Den Wymelenberg K. 2019 novel coronavirus (COVID-19) pandemic: Built environment considerations to reduce transmission. *Msystems* 2020; 5(2): e00245-20.
68. Bhowmick GD, Dhar D, Nath D, Ghangrekar MM, Banerjee R, Das S, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: some serious consequences with urban and rural water cycle. *NPJ Clean Water* 2020; 3(1): 1-8.
69. Shajahan A, Culp CH, Williamson B. 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* 2019; 29(2): 161-76.
70. Jiang Y, Zhao B, Li X, Yang X, Zhang Z, Zhang Y. Investigating a safe ventilation rate for the prevention of indoor SARS transmission: An attempt based on a simulation approach. *Build Simul* 2009; 2(4): 281-9.