

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Risk Assessment of Airborne Transmission of a Viral Infection in a Healthcare Center in Tehran: A Cross-sectional Study of Covid-19 During the Pandemic

Pourya Ahmadi Jalaldehi<sup>1</sup>, Jila Yavarian<sup>2</sup>, Farideh Golbabaee<sup>1</sup>, Saba Kalantary<sup>1</sup>, Abbas Rahimi Foroushani<sup>3</sup>, Hossein Abbaslou<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Virology, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 30-9-2023

Accepted: 19-6-2023

### ABSTRACT

**Introduction:** The COVID-19 pandemic has been a significant global health challenge. Primary care services, such as screening health centers, were crucial in identifying infected individuals. However, these centers were often crowded and posed a high risk to staff and non-COVID-19 patients. This study aims to assess the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 in such settings through simulation.

**Material and Methods:** In this study, waiting and sampling rooms of a COVID-19 healthcare center were simulated using different scenarios. Then, the Quanta emission rate was estimated using the viral load in the sputum of infected individuals. Finally, the airborne transmission risk of SARS-CoV-2 was determined using the Wells-Riley method for scenarios of wearing and without masks.

**Results:** The study showed that the Quanta emission rate in an unmodulated speaking activity was higher than other expiratory activities in both units ( $p < 0.001$ ). Also, the total amount of Quanta was slightly higher in the sampling room than in the waiting room, which was not statistically significant. On the other hand, the calculation of transmission risk showed that the probability of airborne virus transmission in the sampling room was higher (about 2 to 8%). In addition, wearing masks reduced the possibility of airborne transmission of the virus significantly (77 to 81%).

**Conclusion:** This study shows that the level of risk in the sampling and waiting rooms is moderate. Masks also significantly reduce the possibility of airborne transmission of SARS-CoV-2. Taking appropriate health and safety measures such as avoiding crowds, wearing masks, whispering, and monitoring social distancing can reduce the plausibility of airborne transmission of the SARS-CoV-2 virus.

**Keywords:** Risk Assessment, Covid-19, Healthcare Center, Wells-Riley model

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ahmadi Jalaldehi P, Yavarian J, Golbabaee F, Kalantary S, Rahimi Foroushani A, Abbaslou H. Risk Assessment of Airborne Transmission of a Viral Infection in a Healthcare Center in Tehran: A Cross-sectional Study of Covid-19 During the Pandemic. *J Health Saf Work*. 2024; 13(4): 779-796.

### 1. INTRODUCTION

COVID-19, a respiratory illness caused by the SARS-CoV-2 virus, was declared a pandemic by the World Health Organization on March 12, 2020. Since the outbreak began, approximately 770 million individuals have been infected, and about

7 million have died. Identifying and evaluating the various transmission routes of the SARS-CoV-2 virus may aid in reducing the number of cases. One of the primary modes of transmission is through airborne droplets. However, limited studies have investigated the potential for airborne transmission of SARS-CoV-2. One study conducted a risk

\* Corresponding Author Email: [h.abbaslou95@gmail.com](mailto:h.abbaslou95@gmail.com)

assessment by simulating an indoor environment. It proposed a new approach to estimating the viral load released by an infected individual based on factors such as viral load in the mouth, type of respiratory activity, physiological and respiratory parameters, and activity levels.

Recently, Iran has experienced a significant surge in cases and hospitalizations, resulting in nearly all hospital beds occupied by COVID-19 patients. Some existing healthcare centers were designated screening centers; however, these centers were too crowded and considered high-risk environments.

There are a limited number of studies regarding the airborne transmission risk of viruses, and there needs to be a comprehensive understanding of how different parameters affect the risk of viral transmission through the air. In addition, these studies can help in planning to deal with pandemics in the future effectively.

Thus, this study aims to evaluate the potential for airborne transmission of COVID-19 within a designated healthcare facility treating Corona patients and to examine the effectiveness of mask-wearing in reducing the spread of the virus.

**2. MATERIAL AND METHODS**

1. Scenarios: This study examined two scenarios in the investigated units. The parameters considered in these scenarios included the type of activity, the number of patients, the duration of exposure, and the inhalation rate, as shown in Table 1.

• **Sampling Room:** The activity types considered were sitting and walking. The laboratory technician was exposed to an average of one patient (in the first scenario) and two patients (in the second scenario) during shifts lasting 240 and 300 minutes, respectively.

• **Waiting Room:** The predominant activities were sitting, standing, and walking. In the first scenario of this unit, an employee was exposed to ten patients during a shift lasting 270 minutes. In

the second scenario, this individual was in contact with 20 patients during a shift lasting 360 minutes.

2. Risk assessment: A) Quanta Emission Rate In this study, it was assumed that the viral load released by an infected individual is equivalent to the viral load in their sputum. Based on the model proposed by Buonanno et al., the Quanta emission rate was determined using the following equation:

$$ER_j = C_v C_i IR \sum_{i=1}^4 N_i V_i \tag{1}$$

Cv: viral load in sputum; Ci: Conversion coefficient; IR: Inhalation rate; Ni: droplets concentration; Vi: volume of each droplet

In this study, the viral load in sputum was determined to be 10<sup>9</sup> copies/ml, based on previously reported values for C<sub>v</sub>. As the C<sub>i</sub> value for SARS-CoV-2 has yet to be established, the value for SARS-CoV-1 was used instead. The IR was calculated according to the activity type of individuals, while N<sub>p</sub>, the same as droplet diameter, was adopted from previous studies.

B) The airborne transmission risk of the virus was determined using the Wells-Riley model, as expressed in the following formula:

$$P \times 100 = 1 - e^{-\frac{IER(IR)t}{Q}} \tag{2}$$

P: Probability of airborne transmission of the infection; I: Number of patients; ER: Quanta emission rate; IR: inhalation rate; t: Duration of exposure; Q: Rate of outdoor airflow

In this research, the assumption was made that wearing a mask decreases the probability of viral transmission by 70%. As such, this impact was factored into the computation of both ER and Q.

**3. RESULTS AND DISCUSSION**

According to Figure 1, an increase in viral load results in the growth of the Quanta emission rate for all types of activities. Furthermore, ANOVA statistical analysis showed that the Quanta rate

Table 1: The scenarios of two units

Unit	Scenario	Type of Activity	Number of patients	Total exposure time	Inhalation rate
Sampling room	1	Sitting and strolling	One patient	240 Minutes	0.935 $\frac{m^3}{h}$
	2		Two patients	300 Minutes	
Waiting room	1	Sitting, standing, and strolling	Ten patients	270 Minutes	0.8 $\frac{m^3}{h}$
	2		twenty patients	360 Minutes	

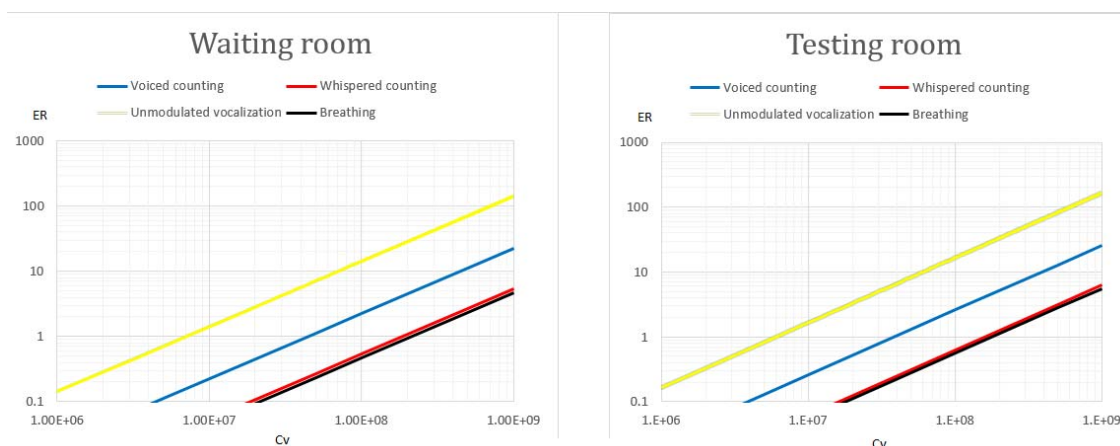


Fig. 1: Rate of Quanta released from infected individuals (ER) in the studied units in terms of sputum viral load ( $C_v$ )

Table 2: Parameters of airborne transmission risk of the virus for different scenarios

Unit	Wearing a mask			No mask			Difference %
	P (%) (transmission risk)	$Q \left( \frac{m^3}{min} \right)$	ER $\left( \frac{quanta}{h} \right)$	P (%) (transmission risk)	$Q \left( \frac{m^3}{min} \right)$	ER $\left( \frac{quanta}{h} \right)$	
Sampling room- the first scenario	6.9083	22.42355	25.75176	33.345607	13.19032	85.83921	26.437307
Sampling room- the second scenario	11.246613	33.63532	25.75176	49.139421	19.78548	85.83921	37.892818
Waiting room- the first scenario	6.4948	116.8086	13.07349	31.65048	68.71097	43.5783	25.15568
Waiting room- the second scenario	7.9537	222.9983	13.07349	41.23019	131.1755	43.5783	33.27649

in unmodulated vocalization was significantly higher in both units ( $p < 0.001$ ). Also, breathing had a lower rate of emission than other activities. The study indicated that unmodulated speaking generates more Quanta than other expiratory activities. The presented study results align with the mentioned study's results probably because of the same concentrations of droplets emitted in various expiratory activities. Schijven et al. investigated sneezing and coughing as respiratory activities and showed that they release the most significant aerosols. Also, in line with the results of this study, breathing generated the lowest volume of aerosols. As shown in Figure 1, the Quanta emission rate in the sampling room is slightly higher than in the waiting room, and this difference was insignificant in the various activities. Indeed, there were different expiratory activities in these units. The mean values of inhalation rate for the activities in the sampling and waiting rooms are  $0.935m^3/h$  and  $0.8 m^3/h$ , respectively, which, based on equation 1, the Quanta concentration in the sampling room would be more than the other unit. According to Table 2, the risk assessment result showed that the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 in

the waiting room is lower, which could be due to the unit's significantly lower Quanta emission rate.

Moreover, in both units, the risk of airborne virus transmission in the second scenario was more than in the first. The exposure time and the number of infected people in the first scenario were lower than in the second one, resulting in a lower infection transmission risk. Therefore, limiting the number of patients present in the units decreases the exposure time of staff.

In a study by Buonanno et al., the airborne transmission risk of infection was assessed before and after implementing health and safety measurements. Various scenarios for public places such as pharmacies, supermarkets, restaurants, post offices, and banks were designed. The study results indicated that the risk of transmission in restaurants was higher than in other settings. Indeed, more people are present simultaneously in restaurants, leading to more transmission risk. Thus, it is in line with the findings of the present study. The simulation results of another study at short and long distances from the source showed the possibility of infection transmission in indoor environments at both distances.

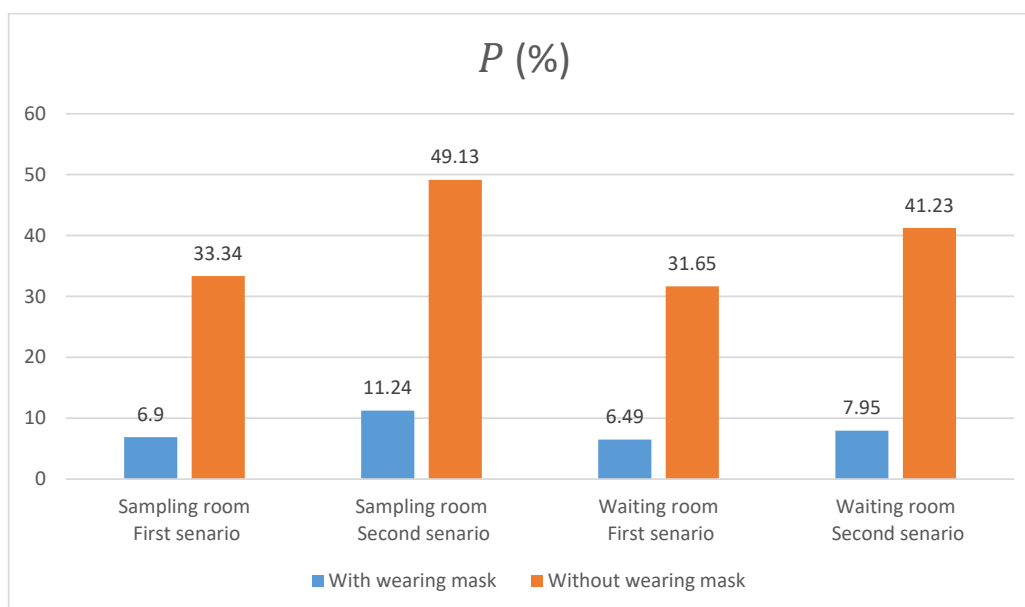


Fig. 2: The risk of airborne transmission of the COVID-19 virus in different environments and scenarios before and after using a mask

On the other hand, in the study of Buonanno et al., Health and safety measurements and Lockdown scenarios reduced the risk in all the studied settings. The decline was more significant in the supermarket than in the other workplaces. By investigating the parameters of the scenarios, it was found that fewer people and decreased exposure time in the supermarket during the lockdown have significantly reduced the risk.

Furthermore, as shown in Figure 2, this study showed that wearing masks decreases the risk of airborne transmission of infection significantly (77-81%). This result is similar to the findings of previous studies. Harrichandra et al. Conducted a study to evaluate the probability of SARS-CoV-2 airborne transmission in New York City beauty salons and found that using a mask could significantly reduce the risk of virus transmission in all nail salons. In another study, the transmission risk of infection was estimated based on two types of intense and moderate activities under the conditions of using N95 masks. It was shown that mask violation increases the probability of virus transmission by 19 to 20 times in both activities.

Another investigation examined the

transmission risk concerning two distinct categories of vigorous and moderate activities with N95 masks. The findings underscored that abstaining from mask utilization across both activity classifications augmented the susceptibility to virus transmission by a factor ranging from 19 to 20-fold.

#### 4. CONCLUSIONS

This study shows that the level of risk in the sampling and waiting rooms is moderate. Masks also significantly reduce the possibility of airborne transmission of SARS-CoV-2. Taking appropriate health and safety measures such as avoiding crowds, wearing masks, whispering, and monitoring social distancing can reduce the plausibility of airborne transmission of the SARS-CoV-2 virus.

#### 5. ACKNOWLEDGMENT

This article was prepared as a part of an M.Sc. thesis at the Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Science. The authors thank the Department of Occupational Health Engineering head for all her support in conducting this study.

## ارزیابی ریسک انتقال هوابرد یک بیماری ویروسی در یک مرکز بهداشتی-درمانی منتخب در شهر تهران: مطالعه موردی ویروس کووید-۱۹

پوریا احمدی جلال‌دهی<sup>۱</sup>، ژیلایا یاوریان<sup>۲</sup>، فریده گلبابایی<sup>۱</sup>، صبا کلانتری<sup>۱</sup>، عباس رحیمی فروشانی<sup>۳</sup>، حسین عباسلو<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، تهران  
<sup>۲</sup>گروه ویروس شناسی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران  
<sup>۳</sup>گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

### چکیده

**مقدمه:** کووید-۱۹ در سالهای اخیر یکی از مهم‌ترین معضل بهداشتی در جهان بوده که منجر به مرگ و میر و بیماری بسیاری از افراد گردیده است. مراکز بهداشتی-درمانی به عنوان خط مقدم که غالباً بیماران و افراد مشکوک به آن مراجعه می‌کردند، منبعی برای انتقال بیماری از طریق هوا به عنوان راه اصلی انتقال آن بوده اند. لذا، مطالعه حاضر به بررسی ارزیابی ریسک انتقال هوابرد کووید-۱۹ در یک مرکز درمانی پرداخته است.

**روش کار:** در مطالعه حاضر، دو بخش اتاق نمونه‌گیری و سالن انتظار یک مرکز منتخب بهداشتی-درمانی منتخب کرونا جهت ارزیابی ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ تحت دو سناریوی مختلف و با در نظر گرفتن فعالیت، تعداد مراجعین، مدت زمان مواجهه و نرخ تنفس انتخاب شدند. به منظور بررسی ارزیابی ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ از معادله ویلز-ریلی استفاده شد.

**یافته‌ها:** این مطالعه نشان داد که با افزایش بار ویروسی، میزان کوانتای منتشر شده برای همه انواع فعالیت‌ها افزایش پیدا می‌کند. میزان نرخ انتشار کوانتا، در فعالیت از نوع صحبت با صدای غیریکنواخت، در هر دو بخش مورد بررسی بیشتر از سایر فعالیت‌های بازدمی بوده است ( $P\text{-Value} < 0.001$ ) و در عمل تنفس به نسبت سایر فعالیت‌ها کمتر است. همچنین در اتاق نمونه‌گیری، میزان کلی نرخ انتشار کوانتا اندکی بیشتر از سالن انتظار بود که البته از نظر آماری معنادار نبود. همچنین، محاسبه ریسک انتقال هوابرد نشان داد که احتمال انتقال هوابرد ویروس در اتاق نمونه‌گیری حدود ۲ تا ۸ درصد بالاتر از سالن انتظار بوده و استفاده از ماسک می‌تواند به میزان ۷۷ تا ۸۱ احتمال انتقال ویروس را کاهش دهد. **نتیجه‌گیری:** براساس نتایج مطالعه همواره ریسک انتقال هوابرد در اتاق نمونه‌گیری و سالن انتظار وجود داشته و استفاده از ماسک باعث کاهش چشمگیر احتمال انتقال هوابرد ویروس می‌شود. بنابراین، اتخاذ تدابیر بهداشتی مناسب مانند جلوگیری از تجمع، استفاده از ماسک، پرهیز از صحبت با صدای بلند، رعایت فاصله گذاری اجتماعی می‌تواند به کاهش احتمال انتقال هوابرد ویروس کووید منجر شود.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی ریسک، کووید-۱۹، مرکز بهداشتی-درمانی، انتقال هوابرد، معادله ویلز-ریلی

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: [h.abbaslou95@gmail.com](mailto:h.abbaslou95@gmail.com)

## مقدمه

بیماری کووید-۱۹ یک بیماری تنفسی است که توسط کروناویروس (SARS-CoV-2) ۲۰۱۹ ایجاد می‌شود، و برای نخستین بار در تاریخ ۱۲ مارس ۲۰۲۰ توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) معرفی شد (۱). با گسترش سریع آن، به یک بیماری همه‌گیر در سطح جهانی تبدیل شد، بطوریکه WHO آن را به عنوان یک پاندمی معرفی نمود. آمار اخیر نشان می‌دهد که تا آگوست ۲۰۲۳، حدود ۷۷۰ میلیون نفر به این بیماری مبتلا شده‌اند که از بین آنها نزدیک به ۷ میلیون نفر در گذشته‌اند (۲). در نهایت سازمان جهانی بهداشت در ماه می ۲۰۲۳ به صورت رسمی اعلام کرد که پاندمی کرونا پایان یافته است (۳).

مسیرهای متفاوتی برای انتقال ویروس کووید-۱۹ وجود دارد که ارزیابی این مسیرها، بسیار اهمیت دارند، چرا که در برنامه‌ریزی و مداخلات به منظور قطع زنجیره انتقال، بسیار کمک‌کننده هستند. انتقال از طریق قطرات تنفسی موجود در هوا از مهم‌ترین مسیرهای انتقال ویروس می‌باشد. مطالعاتی در رابطه با نقش هوا در انتقال کووید-۱۹ انجام گرفته است. برخی از این مطالعات شواهدی از حضور ویروس در هوا نیافتند گرچه برخی دیگر انتقال آن از طریق قطرات هوا را نشان داده‌اند. از سوی دیگر، دانش و تجربه موجود در رابطه با مکانیسم انتقال ویروس‌های مشابه با کووید-۱۹ موید این نکته است که احتمال انتقال از طریق قطرات موجود در هوا وجود دارد (۳). سازمان جهانی بهداشت روز ۹ جولای ۲۰۲۰ به صورت رسمی تایید کرد که قطرات حاوی ویروس کرونا می‌توانند در فضاهای سرپوشیده از طریق هوا نیز منتقل شوند و انتقال از طریق هوا یکی از راه‌های اصلی مواجهه با ویروس کووید-۱۹ است و کسانی که در فضاهای شلوغ و بدون تهویه کافی حضور داشته باشند، ممکن است در خطر آلوده شدن به این ویروس قرار گیرند (۴).

با توجه به انتقال ذرات هوا برد حاوی ویروس به عنوان اصلی‌ترین مسیر سرایت آن، تعیین ریسک این انتقال در شرایط و محیط‌های مختلف حائز اهمیت

می‌باشد. هم‌اکنون مطالعات معدودی احتمال انتقال هوا برد کووید-۱۹ را مورد بررسی قرار داده و مدل‌سازی نموده‌اند. در مطالعه‌ای، ارزیابی ریسک در محیط‌های داخلی با شبیه‌سازی انتقال هوا برد ویروس در طی یک اپیدمی انجام شد. برای این منظور، یک رویکرد جدید برای تخمین بار ویروسی منتشر شده توسط یک فرد آلوده بر اساس بار ویروسی در دهان، نوع فعالیت تنفسی (به عنوان مثال تنفس، صحبت کردن، نجوا)، پارامترهای فیزیولوژیکی تنفسی (به عنوان مثال میزان استنشاق)، و سطح فعالیت (به عنوان مثال استراحت، ایستادن، ورزش سبک) پیشنهاد شد (۵).

با توجه به انتقال ذرات هوا برد حاوی ویروس به عنوان اصلی‌ترین مسیر سرایت آن، تعیین ریسک این انتقال در شرایط و محیط‌های مختلف حائز اهمیت می‌باشد. هم‌اکنون مطالعات معدودی احتمال انتقال هوا برد کووید-۱۹ را مورد بررسی قرار داده و مدل‌سازی نموده‌اند. در مطالعه‌ای، ارزیابی ریسک در محیط‌های داخلی با شبیه‌سازی انتقال هوا برد ویروس در طی یک اپیدمی انجام شد. برای این منظور، یک رویکرد جدید برای تخمین بار ویروسی منتشر شده توسط یک فرد آلوده بر اساس بار ویروسی در دهان، نوع فعالیت تنفسی (به عنوان مثال تنفس، صحبت کردن، نجوا)، پارامترهای فیزیولوژیکی تنفسی (به عنوان مثال میزان استنشاق)، و سطح فعالیت (به عنوان مثال استراحت، ایستادن، ورزش سبک) پیشنهاد شد (۵). از طرفی با افزایش آمار بیماران، کادر درمانی مراکز بهداشتی و درمانی و بیمارستان‌ها به صورت طولانی‌مدت فعالیت داشته، و با چالش‌هایی روبرو بودند که تاکنون تجربه نکرده بودند. مراکز درمانی و کادر پزشکی و درمان از جمله پزشکان و پرستاران به عنوان خط مقدم مقابله با ویروس کرونا، در خطر مواجهه با این ویروس قرار داشته‌اند. به نظر می‌رسد علیرغم مراقبت‌های حین مواجهه با بیماران، گروه کادر درمانی بیشتر در محیط‌های آلوده بیمارستانی آلوده شوند و با مواجهه مکرر و با بار ویروسی بیشتر در این مواجهات قطعاً بیشتر از جمعیت عادی جامعه درگیر هستند (۶).

از ماسک بر میزان انتقال ویروس کووید-۱۹ می‌باشد.

### روش کار

طراحی سناریوهای موجود براساس شرایط موجود در واحد کاری

این مطالعه در یک مرکز بهداشتی-درمانی منتخب کرونا صورت گرفت و پس از انجام بازدید میدانی، دو واحد اتاق نمونه‌گیری و سالن انتظار به منظور انجام مطالعه انتخاب شد. در این مطالعه، سناریوهایی با ویژگی‌های متفاوت برای این دو واحد در بدترین وضعیت (بیشترین مدت زمان شیفت و مواجهه) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از روش ولز-ریلی، سطح ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ در سناریوهای طراحی شده، مورد بررسی قرار گرفت (۱۰). و در نهایت، تاثیر استفاده از ماسک یا عدم استفاده از آن در سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده، مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر واحد مورد بررسی دو سناریوی گوناگون با در نظر گرفتن پارامترهای نوع فعالیت افراد حاضر، تعداد افراد مبتلا، مدت زمان مواجهه و نرخ تنفس مورد بررسی قرار گرفت. جزئیات پارامترهای در نظر گرفته شده هر سناریو در هر یک از این دو واحد در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس جدول ۱، در سناریوی اول در واحد نمونه‌گیری، فرض بر این بوده است که به طور متوسط یک مراجعه‌کننده مبتلا در طول چهار ساعت در واحد حضور داشته است. نوع فعالیت افراد با توجه به بررسی‌های میدانی، نشستن و راه رفتن آرام در نظر گرفته شده و بر همین مبنا نرخ تنفس نیز محاسبه شده است. در سناریوی دوم این واحد که وضعیت حادثی را نشان می‌دهد، به طور متوسط دو نفر در طول پنج ساعت شیفت کاری واحد نمونه‌گیری حضور داشته‌اند. البته نوع فعالیت افراد تفاوتی با سناریوی اول نداشته است. در سالن انتظار افراد بیشتری حضور دارند، بطوریکه در سناریوی اول، به طور متوسط ۱۰ نفر مراجعه‌کننده به مدت ۲۷۰ دقیقه در حالت نشسته، ایستاده و راه رفتن بوده‌اند. در سناریوی دوم این واحد ۲۰ نفر به مدت ۳۶۰ دقیقه در وضعیت‌های مشابه حضور داشته‌اند. نرخ تنفس

براساس مطالعات انجام شده، بیماری کووید-۱۹ به عنوان یک بیماری همه‌گیر باعث ایجاد شوک شدید به سیستم بهداشتی-درمانی اکثر کشورهای دنیا شده است. گزارش نخستین مرگ‌های منتشر شده از پزشکانی که در حین مراقبت از بیماران آلوده به این ویروس مبتلا گشته بودند نشانگر آن است که انتقال ویروس در مراکز بهداشتی و درمانی به کارکنان مراقبت‌های بهداشتی یک موضوع خطرناک است. مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های چین در زمان شیوع کووید-۱۹ گزارش کرده است که تا ۱۱ فوریه ۲۰۲۰ از ۴۴۶۷۲ مورد تایید شده مبتلا به کروناویروس ۱۷۱۶ نفر آنها کارکنان مراقبت بهداشتی بودند، و این نشانگر خطر بالای ابتلا بین کادر درمان است (۷).

بنابراین، انجام مدل‌سازی‌ها و متعاقب آن ارزیابی احتمال انتقال کووید-۱۹ به عنوان یک بیماری ویروسی می‌تواند تصویری از وضعیت و میزان ریسک موجود در محیط‌های شغلی گوناگون از جمله مراکز درمانی بدهد و به افراد در نوع و چگونگی انجام اقدامات پیشگیرانه و حتی ارزیابی این اقدامات در خصوص این بیماری و یا سایر بیماری‌ها با خصوصیات مشابه کمک کند. شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک انتقال هوابرد کووید-۱۹ یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی بود که از ابتدای این پاندمی توجه متخصصان بهداشتی را به خود مشغول معطوف داشت. این درحالیست که مطالعات در این حوزه محدود بوده و شناخت کاملی از نحوه تاثیر پارامترهای مختلف بر میزان ریسک انتقال چنین بیماری‌هایی از طریق هوا وجود ندارد. علاوه بر این، وجود داده‌های حاصل از چنین مطالعاتی می‌تواند در آینده در برنامه‌ریزی جهت مقابله موثر در زمانهای پاندمی و مدیریت شرایط اضطراری کمک شایانی نماید. از سوی دیگر، تجربیات گذشته در خصوص چنین بیماری‌های مشابه نشان داده است همواره احتمال افزایش شیوع بیماری در بین کارکنان مراکز بهداشتی از طریق هوابرد وجود دارد (۸، ۹). بنابراین، هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک انتقال هوابرد کووید-۱۹ در یک مرکز بهداشتی درمانی منتخب کرونا و نیز بررسی تاثیر استفاده

جدول ۱: مشخصات هر یک از سناریوهای در نظر گرفته شده در واحدهای مورد مطالعه

واحد	سناریو	نوع فعالیت افراد	تعداد نفرات در تماس با تکنسین اتاق نمونه گیری	کل زمان مواجهه	نرخ تنفس*
اتاق نمونه گیری	۱	نشستن، راه رفتن آرام	۱ مراجعه کننده مبتلا	۲۴۰ دقیقه	$0.935 \frac{m^3}{h}$
	۲		۲ مراجعه کننده مبتلا	۳۰۰ دقیقه	
سالن انتظار	۱	نشستن، ایستادن، راه رفتن آرام	۱۰ مراجعه کننده مبتلا	۲۷۰ دقیقه	$0.8 \frac{m^3}{h}$
	۲		۲۰ مراجعه کننده مبتلا	۳۶۰ دقیقه	

\* فاکتور نرخ تنفس با استفاده از میانگین مقادیر مربوط به نوع فعالیت افراد، در نظر گرفته شده است.

صورت نرخ انتشار کوانتا بیان می‌شود که در این تعریف، هر کوانتوم برابر میزان دزی از قطرات است که باعث ایجاد بیماری در ۶۳ درصد از افراد در معرض می‌گردد (۱۴). طبق مدل ارائه شده توسط موروسکا و همکاران، نرخ انتشار کوانتا از رابطه زیر بدست می‌آید (۵):

$$ER_i = C_V \cdot C_i \cdot IR \cdot \sum_{i=1}^4 N_i \cdot V_i \quad (1)$$

در این رابطه،  $C_V$  بار ویروسی موجود در خلط،

$C_i$  ضریب تبدیل،

$IR$  نرخ تنفس فرد،

$N_i$  غلظت قطرات و

$V_i$  حجم هر قطره می‌باشد.

در مطالعات قبلی، مقادیر مختلفی برای  $C_V$  گزارش شده است، براین اساس، در این مطالعه،  $10^9 \frac{copies}{ml}$  به عنوان نرخ معمول بار ویروسی موجود در خلط در نظر گرفته شد (۱۵-۲۱). همچنین، از آنجایی که مقدار  $C_i$  برای ویروس کووید-۱۹ تعیین نشده است، در این مطالعه از مقدار  $C_i$  برای ویروس مشابه آن یعنی SARS-CoV-1 استفاده می‌شود (۵).  $IR$  با توجه به نوع فعالیت هر فرد متفاوت می‌باشد، بطوریکه برای استراحت، ایستادن، ورزش سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر با  $\frac{m^3}{h}$  ۰/۴۹،  $\frac{m^3}{h}$  ۰/۵۴،  $\frac{m^3}{h}$  ۱/۳۸،  $\frac{m^3}{h}$  ۲/۳۵ و  $\frac{m^3}{h}$  ۳/۳ گزارش شده است (۲۲). همچنین، مقادیر دو متغیر غلظت قطرات ( $N_i$ ) و قطر قطرات (جهت محاسبه حجم قطرات ( $V_i$ ))

در این حالت برابر با  $0.8 \frac{m^3}{h}$  محاسبه شده است. مدت زمان‌های مواجهه ذکر شده بر اساس بازدیدهای میدانی و مشاهدات صورت گرفته در این مرکز انتخاب شدند. اتاق نمونه‌گیری مراکز مختلف، بسته به حجم مراجعین، ساعت‌های کاری متفاوتی دارند که در این مطالعه بدترین وضعیت‌ها و سناریوها (بیشترین مدت زمان شیفت و مواجهه) در نظر گرفته شد. از سوی دیگر، با توجه به ساعات کاری زیاد واحدهای مختلف این مرکز، سالن انتظار نیز در اکثر اوقات دارای مراجعه‌کننده بوده و در این واحد نیز حالت بدبینانه‌ترین سناریو برای کارکنان این واحد در نظر گرفته شد.

#### ارزیابی ریسک

روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک انتقال هوابرد میکروارگانیسم‌ها وجود دارد. روش ولز-ریلی یکی از مهم‌ترین ابزارهای موجود برای تخمین ریسک این نوع انتقال به شمار می‌رود که پیش از این هم در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱-۱۳). به منظور ارزیابی ریسک انتقال عفونت هوابرد کروناویروس از طریق روش ولز-ریلی، در ابتدا نرخ انتشار کوانتا تخمین زده خواهد شد و سپس ارزیابی ریسک انتقال ویروس کووید از طریق هوا برآورد می‌گردد. با فرض اینکه بار ویروسی منتشر شده از فرد مبتلا، برابر با بار ویروسی خلط او باشد، با داشتن غلظت ویروسی در خلط و تعداد قطرات منتشر شده از فرد می‌توان بار ویروسی منتشر شده از فرد را به دست آورد (۵). این بار ویروسی منتشر شده به

جدول ۲: غلظت قطره، Ni (واحد:  $part/cm^3$ ) در توزیع سائز مختلف ذرات بر حسب نوع فعالیت بازدمی در افراد

قطر قطره				
D <sub>4</sub> (5.5um)	D <sub>3</sub> (3.5um)	D <sub>2</sub> (1.8um)	D <sub>1</sub> (0.80um)	نوع فعالیت بازدمی
۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۶۸	۰/۲۳۶	شمارش با صدای بلند
۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۱۱۰	شمارش با صدای کم
۰/۰۵۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۷۵۱	صحبت با صدای غیریکنواخت
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۸۴	تنفس

جدول ۳: تعاریف و مقادیر پارامترهای مورد استفاده جهت برآورد ریسک انتقال هوابرد کووید-۱۹ در مطالعه حاضر

متغیر	تعریف مختصر	نحوه اندازه گیری / مقدار	واحد	منبع
$ER_i$	نرخ انتشار کوانتا	محاسبه از رابطه ۱	$\frac{quanta}{h}$	(۵)
$C_V$	بار ویروسی موجود در خلط	$10^9$	$\frac{copies}{ml}$	(۱۵-۲۱)
$C_i$	ضریب تبدیل	بین ۰/۱ تا ۰/۱	-	(۵)
$N_i$	غلظت قطرات	براساس جدول ۲	$\frac{part}{cm^3}$	(۲۳)
$V_i$	حجم هر قطره	محاسبه با استفاده از غلظت قطرات ( $N_i$ ) و قطر قطرات (جدول ۲)	$um^3$	(۲۲)
IR	نرخ تنفس	برای استراحت، ایستادن، ورزش سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر با ۲/۳۵، ۰/۳۸، ۰/۵۴، ۰/۴۹ و ۳/۳	$\frac{m^3}{h}$	(۲۲)
P	احتمال انتقال هوابرد عفونت	محاسبه از رابطه ۲	-	(۱۰)
I	تعداد افراد مبتلا	جدول ۱	نفر	(۹) و شرایط مطالعه حاضر
Q	نرخ جریان هوای بیرون (فضای آزاد)	تعداد نفرات $V_0 \times X$	$\frac{m^3}{min}$	(۹) شرایط مطالعه حاضر
t	مدت زمان مواجهه	جدول ۱	min	(۹) و شرایط مطالعه حاضر
$V_i$	نرخ جریان هوای بیرون به ازای هر فرد	محاسبه از رابطه ۳	$\frac{m^3}{s}$	مطالعه حاضر
N	میزان تولید CO <sub>2</sub> به ازای هر فرد	۰/۰۰۰۰۰۵۲	$\frac{m^3}{s}$	(۱۰)
$C_s$	متوسط غلظت CO <sub>2</sub> در فضا	اندازه گیری میدانی	ppm	مطالعه حاضر
$C_e$	غلظت CO <sub>2</sub> در هوای بیرون	۴۱۰	ppm	(۱۰)

با توجه به نوع فعالیت بازدمی افراد در جدول ۲ نمایش داده است (۲۳).

بعد از برآورد نرخ انتشار کوانتا، ارزیابی ریسک انتقال ویروس کووید از طریق هوا، با استفاده از روش ولز-ریلی طبق فرمول زیر محاسبه می شود (۱۰):

$$P \times 100 = 1 - e^{-\left(\frac{IER(IR)t}{Q}\right)} \quad (2)$$

در این فرمول، P احتمال انتقال هوابرد عفونت، I تعداد افراد مبتلا، ER نرخ انتشار کوانتا، IR نرخ

۲۰۱۹ و SPSS (SPSS, Inc, Chicago, IL, USA) نسخه ۲۶ انجام شد و سپس پس از محاسبه نرخ انتشار کوانتا به ازای هر سناریو، احتمال انتقال عفونت محاسبه گردید. به منظور بررسی تفاوت معناداری بین داده‌های بدست آمده از آزمون آماری  $t$  مستقل استفاده و سطح معناداری  $0.05$  در نظر گرفته شد و نیز برای نمودارها و نمایش بهتر آن از مقیاس لگاریتمی استفاده گردید.

### یافته‌ها

#### نرخ انتشار کوانتا

در شکل ۱، نمودار مربوط به نرخ کوانتای منتشر شده از فرد مبتلا در فعالیتهای بازدمی مختلف بر حسب بار ویروسی، نشان داده شده است. طبق نمودار، با افزایش بار ویروسی، میزان کوانتای منتشر شده نیز برای همه انواع فعالیتهای افزایش پیدا کرده است. میزان کوانتا در فعالیت از نوع صحبت با صدای غیریکنواخت، در هر دو واحد مورد بررسی به طور معناداری بیشتر از سایر فعالیتهای بوده است ( $P\text{-Value} < 0.001$ ). همچنین، عمل تنفس به نسبت سایر فعالیتهای دارای کوانتای کمتری بوده است. نتایج نشان داد که در اتاق نمونه‌گیری، میزان کوانتا اندکی بیشتر از سالن انتظار بوده است، گرچه این تفاوت در هیچکدام از فعالیتهای معنادار نبوده است. در این مطالعه، با توجه به نوع عملکرد افراد در دو واحد، طبق جدول ۲، میانگین فعالیتهای بازدمی صحبت کردن و تنفس برای اتاق نمونه‌گیری، و میانگین موارد شمارش با صدای کم و بلند، صحبت کردن و تنفس برای سالن انتظار در نظر گرفته شد.

#### ریسک انتقال هوابرد ویروس

با جایگذاری متغیرهای سناریوها در فرمول ۲، میزان سطح ریسک انتقال ویروس در دو واحد مورد مطالعه بدست آمد. در جدول ۳، مقادیر مربوط به سه پارامتر میزان کوانتای منتشر شده ( $ER$ )، میزان فلوی جریان هوا ( $Q$ ) و ریسک انتقال هوابرد ویروس از فرد مبتلا به افراد در معرض مواجهه ( $P$ ) در دو حالت استفاده از ماسک و یا

تنفس،  $t$  مدت زمان مواجهه و  $Q$  نرخ جریان هوای بیرون (فضای آزاد) می باشد. از آنجایی که اندازه گیری مستقیم مقدار  $Q$  امکان پذیر نمی باشد، از مدل های ارائه شده قبلی برای تخمین آن استفاده می شود که فرمول کلی آن بصورت زیر است (۱۰):

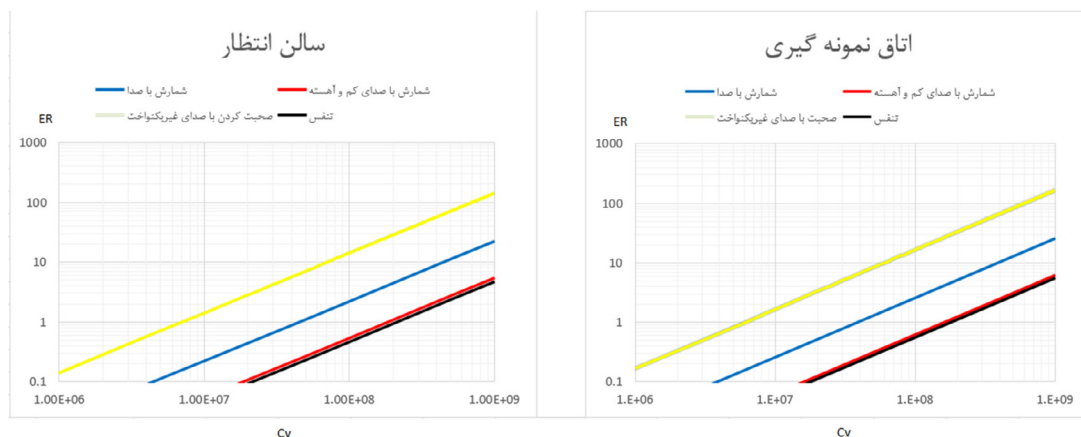
$$V_0 = \left( \frac{N}{C_s - C_0} \right) \times 10^6 \quad (3)$$

در این فرمول،  $V_0$  نرخ جریان هوای بیرون به ازای هر فرد،  $C_s$  متوسط غلظت  $CO_2$  در فضا،  $C_0$  غلظت  $CO_2$  در هوای بیرون (معادل  $410$  ppm) و  $N$  میزان تولید  $CO_2$  به ازای هر فرد می باشد که با توجه به نوع فعالیت او، از مقادیر مطالعات قبلی اخذ گردید (۲۴). پس از برآورد میزان  $V_0$ ، مقدار آن در تعداد افراد حاضر در واحد مورد نظر، ضرب می شود تا مقدار متغیر  $Q$  بدست آید. خلاصه متغیرهای مطالعه و مقادیر آنها در جدول ۳ آورده شده است.

تاثیر استفاده از ماسک بر میزان انتقال ویروس کووید-۱۹ در مطالعات مختلف، تاثیر مثبت استفاده از ماسک در پیشگیری از انتقال ویروس تایید شده است و در برخی از کشورها نیز به صورت یک الزام قانونی درآمده است (۲۵-۲۸). علیرغم این، در این مطالعه نیز تاثیر استفاده و عدم استفاده از ماسک بر انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که ماسکها انواع مختلف و در نتیجه کاراییهای متفاوتی دارند، در این مطالعه به صورت محافظه کارانه و براساس بررسی متون صورت گرفته فرض بر این است که ماسک باعث احتمال کاهش ۷۰ درصدی انتقال ویروس از فرد مبتلا می شود (۲۹-۳۱). برای در نظر گرفتن این تاثیر در فرمول، مقدار مذکور در میزان نرخ انتشار کوانتا ( $ER$ ) اعمال گردید.

#### بررسی آماری

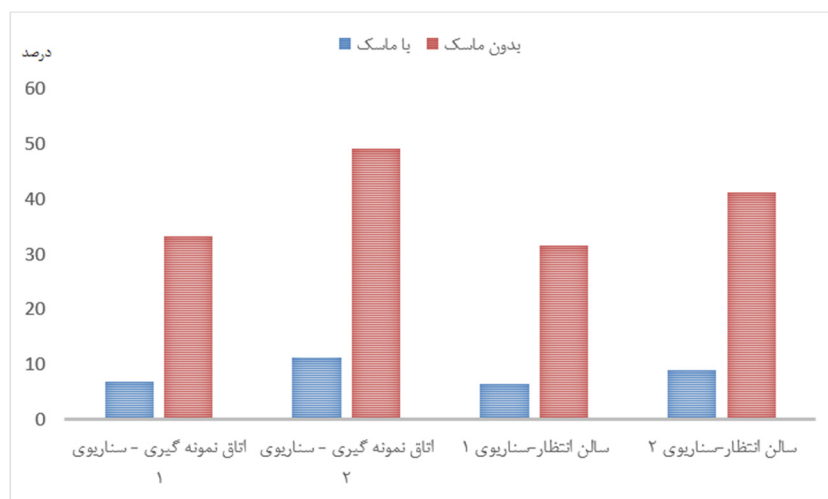
تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزارهای Excel



شکل ۱: نرخ کوانتای منتشر شده از افراد مبتلا (ER) در واحدهای مورد بررسی بر حسب بار ویروسی خلط (C<sub>v</sub>)

جدول ۴: مقادیر ریسک انتقال هوابرد ویروس در واحدها در سناریوهای مختلف

نام واحد	بدون ماسک تنفسی			با ماسک تنفسی			میزان افزایش احتمال انتقال عفونت در صورت عدم استفاده از ماسک (%)
	(%)P	$(\frac{m^r}{min})Q$	$ER(\frac{quanta}{h})$	(%)P	$(\frac{m^r}{min})Q$	$ER(\frac{quanta}{h})$	
اتاق نمونه گیری - سناریو ۱	۳۳/۳۴۵۶۰۷	۱۳/۱۹۰۳۲	۲۵/۷۵۱۷۶	۶/۹۰۸۳	۲۲/۴۲۳۵۵	۲۵/۷۵۱۷۶	۲۶/۴۳۳۰۷
اتاق نمونه گیری - سناریو ۲	۴۹/۱۳۹۴۳۱	۱۹/۷۸۵۴۸	۲۵/۷۵۱۷۶	۱۱/۲۴۶۶۱۳	۳۳/۶۳۵۳۲	۲۵/۷۵۱۷۶	۳۷/۸۹۲۸۱۸
سالن انتظار - سناریو ۱	۳۱/۶۵۰۴۸	۶۸/۷۱۰۹۱	۱۳/۰۷۳۴۹	۶/۴۹۴۸	۱۱۶/۸۰۸۶	۱۳/۰۷۳۴۹	۲۵/۱۵۵۶۸
سالن انتظار - سناریو ۲	۴۱/۲۳۰۱۹	۱۳۱/۱۷۵۵	۱۳/۰۷۳۴۹	۷/۹۵۳۷	۲۲۲/۹۹۸۳	۱۳/۰۷۳۴۹	۳۳/۲۷۶۴۹



شکل ۲: ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ در محیط و سناریوهای مختلف قبل و بعد از استفاده از ماسک

عدم استفاده از ماسک تنفسی، نمایش داده شده است. بر اساس این جدول و همانطور که در شکل ۱ مشخص شده، میزان کوانتا در اتاق نمونه‌گیری بیشتر از سالن انتظار بوده است، در حالی که فلوی جریان هوا در سالن انتظار بیشتر بوده است. محاسبه ریسک انتقال هم‌نشان می‌دهد که احتمال انتقال هوابرد ویروس در اتاق نمونه‌گیری بالاتر بوده است. از سوی دیگر، همانطور که در شکل ۲ مشخص است، استفاده از ماسک، احتمال انتقال ویروس را از طریق هوا به طور قابل توجهی کاهش داده است.

### بحث

مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های آمریکا، انتقال هوابرد قطرات تنفسی حاوی ویروس کووید-۱۹ از افراد مبتلا را، مهم‌ترین مسیر انتقال این میکروارگانیسم دانسته است (۳۲). از سوی دیگر، نتایج مطالعات حاصل از بررسی حضور ویروس در هوای مراکز درمانی نشان داده‌اند که ویروس کووید می‌تواند با غلظت‌های متفاوت و در بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها و مراکز درمانی وجود داشته باشد (۲۹، ۳۰، ۳۳-۳۵). علاوه بر این، برخی مطالعات دیگر نیز شواهدی مبنی بر وجود ویروس در اماکن عمومی و غیردرمانی یافته‌اند (۳۶، ۳۷). بنابراین، بررسی احتمال انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ می‌تواند به درک بهتر میزان خطر در محیط‌های مختلف و انجام اقدامات پیشگیرانه و ایمنی کمک بسزایی نماید. شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک انتقال هوابرد کووید-۱۹ یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی بود که از ابتدای این پاندمی توجه متخصصان بهداشتی را به خود مشغول داشت. لذا، این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ در یک مرکز بهداشتی-درمانی منتخب کرونا تحت سناریوهای مختلف و نیز تاثیر استفاده از ماسک انجام گرفت، تا بتوان با استفاده از نتایج آن به تصویر روشن‌تری از میزان سطح ریسک انتقال هوابرد ویروس (بیماری‌های ویروسی) در شرایط مختلف در محیط‌های خطرناک به منظور انجام اقدامات پیشگیرانه مناسب و درست دست یافت. بدین منظور، ابتدا نرخ انتشار کوانتا از افراد مبتلا محاسبه شده

و سپس با استفاده از روش ولز-ریلی، ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ بدست آمد. طبق نتایج این مطالعه، کوانتای منتشرشده با بار ویروسی برای همه انواع فعالیت‌ها ارتباط مستقیم داشت. نتایج نشان داد که صحبت با صدای غیریکنواخت میزان کوانتای بیشتری را نسبت به سایر فعالیت‌ها منتشر کرده است. همچنین احتمال انتقال هوابرد ویروس در اتاق نمونه‌گیری از سالن انتظار بیشتر بوده است. در مطالعات مشابه فرمول ولز-ریلی برای تخمین ریسک انتقال میکروارگانیسم‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۵، ۳۸، ۳۹). در مطالعه‌ای ریسک انتقال ویروس کووید-۱۹ در مدارس شهر نیویورک پس از بازگشایی مجدد آنها با روش ارزیابی ریسک ولز-ریلی انجام گرفت، نتایج نشان داد که احتمال انتقال هوابرد ویروس عموماً در این مدارس پایین است (۴۰). هرچند بررسی جزئی‌تر نشان داد که مدارس جدیدتر، در مناطق مرفه‌نشین، و با تهویه مکانیکی مناسب، شانس انتقال هوابرد ویروس را پایین می‌آورند. در مطالعه مذکور نشان داده شد که استفاده از تهویه مکانیکی و افزایش نرخ تعویض هوا منجر به افزایش فلوی جریان هوا شده در نتیجه احتمال انتقال هوابرد ویروس کاهش می‌یابد و نتایج آن با مطالعه حاضر نیز همخوانی دارد، افزایش فلوی عبوری موجب کاهش سطح ریسک انتقال هوابرد ویروس شده است.

البته، ولز-ریلی تنها متد مورد استفاده برای ارزیابی ریسک نبوده است. در مطالعه‌ی دیگری، از روش عفونت ثانویه میانگین به ازای هر فرد مبتلا استفاده شد (۳۹). در این روش، از میزان انتشار بار ویروسی، استفاده از ماسک به مانند مطالعه حاضر و فاکتور رقیق‌شوندگی بین دو هوای انتشار یافته و استنشاق شده استفاده گردید. متغیر اول مربوط به تمام ویژگی‌های بیولوژیکی ویروسی و نیز ویژگی‌های جمعیت مواجهه‌یافته است که در آن همانند مطالعه حاضر، متغیر نرخ تنفس هم وجود دارد. متغیر دوم مربوط به جنبه‌های هیدروپنمیک هوا و تهویه می‌باشد. نتایج این شبیه‌سازی در فواصل نزدیک و دور از منبع نشان داد که در محیط‌های سر بسته در هر دو فاصله، احتمال انتقال ویروس وجود دارد. در مطالعه

از آن اجتناب کرد. در همین راستا نیز، سازمان بهداشت جهانی توصیه کرده است در هنگام صحبت کردن، فاصله اجتماعی بین افراد رعایت گردد (۴۳). از سوی دیگر، نتیجه حاصل از بررسی فعالیت تنفس نیز نشان می‌دهد که در عمل بازدم هم امکان انتشار ویروس از فرد مبتلا وجود دارد. بنابراین، هیچگاه ریسک انتقال از افراد مبتلا صفر مطلق نخواهد بود و همواره حتی در هنگام تنفس نیز باید فاصله اجتماعی از افراد دیگر را حفظ کرد. مطالعات پیشین نیز امکان انتقال هوابرد بیماری‌های عفونی را نه صرفاً از عطسه و سرفه بلکه تنها از طریق تنفس افرادی که نشانه‌های بیماری را ندارند نیز نشان داده است (۴۴، ۴۵). عمق تنفس از دیگر عوامل تاثیرگذار در میزان ریسک انتقال هوابرد عامل عفونی است بطوریکه احتمال انتقال بیماری در حالت تمرین شدید تقریباً دو برابر تمرین متوسط است (۴۲). در مطالعه شیجون و همکاران، سناریوهایی بر اساس نوع فعالیت تنفسی (شامل تنفس، صحبت، خواندن، سرفه و عطسه) به همراه پارامترهای مدت زمان مواجهه و وضعیت تهویه تعریف گردید (۴۶). طبق این مطالعه، سناریوی عطسه بیشترین حجم ائروسول‌ها را تولید می‌کرد، همزمان بیشترین احتمال ایجاد بیماری را نیز به همراه داشت. علاوه بر این، با مقایسه دو نمودار مربوط به دو واحد مورد بررسی (شکل ۲) و نتایج حاصل از آنالیز آماری آن‌ها، نشان می‌دهد که میزان نرخ انتشار کوانتا در اتاق نمونه‌گیری اندکی بیشتر از سالن انتظار است. در واقع، علت این تفاوت را باید در اعمال بازدمی متفاوتی که در این دو واحد انجام می‌گیرد جستجو کرد. علاوه بر این، در شکل ۲ می‌توان دید که نمودارها روند صعودی دارند که نشان می‌دهد میان مقادیر نرخ انتشار کوانتا با بار ویروسی خلط ارتباط مستقیم وجود دارد. در واقع، این رابطه نشان می‌دهد که هر چه بار ویروسی خلط فرد بیشتر باشد، یعنی فرد به‌صورت شدیدتری به کرونا مبتلا شده باشد، نرخ انتشار کوانتای بیشتری را (فارغ از نوع فعالیت بازدمی) خواهد داشت. نتایج حاصل از برآورد ریسک نشان می‌دهد که بطور

کیو و همکاران، متغیرهای استفاده از ماسک، مدت زمان مواجهه و میزان فعالیت تعریف گردید که مشابه با مطالعه حاضر است (۴۱). سپس دز مواجهه با استفاده از این متغیرها همراه با غلظت RNA ویروس و نسبت ویروس‌های فعال محاسبه شده و در انتها، ریسک مواجهه ارزیابی گردید. از محدودیت‌های این مدل، استفاده از داده‌های محدود بود که در مطالعات قبلی مثلاً برای محاسبه نسبت ویروس‌های فعال وجود داشت که نیاز به مطالعات معتبر بیشتری دارد. در مطالعه گو و همکاران، نیز روش دیگری برای ارزیابی ریسک در نظر گرفته شد به نحوی که دز تنفسی ویروس به صورت تابعی از حجم تنفسی، غلظت ویروسی در ارتفاع هوای تنفسی و نرخ رسوب ناشی از استفاده از ماسک و نیز دستگاه تنفسی محاسبه و سپس ریسک انتقال با استفاده از آن ارزیابی گردید (۴۲). محدودیت آن مطالعه، ارزیابی اتاق‌های با فشار منفی بود در حالیکه بسیاری از مراکز درمانی چنین ویژگی ندارند. همچنین، فلوی عبور افراد در واحدها هم در مدل وارد نشد.

در این مطالعه، نتایج حاصل از محاسبه نرخ کوانتای منتشر شده نشان داد که عمل صحبت کردن بیش از سایر فعالیت‌های بازدمی، در افزایش نرخ انتشار کوانتا تاثیرگذار است. این نتیجه مشابه یافته‌هایی حاصل از مطالعه بونانو و همکاران است (۵) بطوریکه در آن مطالعه نیز فعالیت‌ها شامل صحبت کردن، شمارش و تنفس به ترتیب بیشترین مقادیر نرخ انتشار کوانتا را داشتند؛ این تفاوت کوانتا در بین فعالیت‌های مختلف می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که غلظت قطرات خروجی در هنگام صحبت کردن بیشتر از غلظت قطرات در سایر اعمال بازدمی است (مطابق جدول ۲). در مطالعه شیجون و همکاران، عطسه و سرفه نیز به‌عنوان فعالیت تنفسی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شده که بیشترین حجم ائروسول‌ها را منتشر می‌کنند. همچنین، همراستا با نتایج این مطالعه، تنفس کمترین حجم را ایجاد کرده است. علاوه بر این، این نتیجه نشان می‌دهد، صحبت کردن به‌ویژه در اماکن عمومی خطرناک بوده و ترجیحاً باید

کاهش در سوپرمارکت بیشتر از سایر محیط‌های کاری دیگر اتفاق افتاد. با بررسی پارامترهای دخیل در محاسبه ریسک، معلوم شد که علاوه بر عامل ذکرشده در بالا، تعداد نفرات حاضر، و نیز کاهش مدت زمان مواجهه در سوپرمارکت در هنگام قرنطینه سراسری موجب کاهش چشمگیر ریسک شده است.

در این مطالعه، کارایی استفاده از ماسک به‌عنوان یک اقدام ایمنی و بهداشتی، در کاهش انتقال ویروس نیز مورد بررسی قرار گرفت. ماسک‌های موجود در بازار دارای کارایی‌های متفاوتی هستند. این کارایی می‌تواند از مقادیر کم تا مقادیر بالا، تا حدود ۹۵ درصد کارایی را شامل شود (۴۱، ۴۷، ۴۸). در این مطالعه، در یک سناریوی فرضی محتاطانه و براساس مطالعات پیشین، کارایی ماسک تنفسی به‌صورت ۷۰ درصد فرض شد و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از ماسک تاثیر به‌سزایی در کاهش ریسک انتقال هوابرد عامل عفونی دارد. این تاثیر بدون استثنا در تمامی سناریوهای طراحی شده مشاهده گردید. میزان کاهش ریسک در موارد بررسی در بازه ۷۷ تا ۸۱ درصد قرار داشت. این نتیجه مشابه با یافته‌های مطالعات پیشین است (۱۰، ۴۱، ۴۲). در مطالعه هاریچاندرا و همکاران که با هدف ارزیابی احتمال انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ در سالن‌های زیبایی شهر نیویورک انجام گرفت، مشخص شد که استفاده از ماسک با کارایی ۶۰ درصد می‌تواند سبب کاهش چشمگیر ریسک انتقال هوابرد ویروس در تمامی سالن‌های زیبایی مورد بررسی شود (۱۰). در پژوهش دیگری، احتمال انتقال عفونت بر اساس دو نوع فعالیت شدید و متوسط تحت شرایط استفاده از ماسک N۹۵ مورد بررسی قرار گرفت که نشان داده شد در هر دو نوع فعالیت، عدم استفاده از ماسک ۱۹ تا ۲۰ برابر احتمال انتقال ویروس را افزایش می‌دهد که در مطالعه دیگری نیز این نوع تاثیر یافت شد (۴۱، ۴۲). در مطالعه کیو و همکاران، ۳ سناریوی ریسک بالا، متوسط و کم بر مبنای استفاده از ماسک، مدت زمان مواجهه و میزان فعالیت تعریف گردید و نشان داده شد که در سناریوی با ریسک بالا، احتمال انتقال عفونت پس از ۳۰

کلی، احتمال انتقال عفونت در اتاق نمونه‌گیری حدود ۲ تا ۸ درصد بیشتر از سالن انتظار است. این نتیجه در حالی بدست آمده است که مدت زمان مواجهه در نظر گرفته در سناریوهای مربوط به اتاق نمونه‌گیری کمتر از سالن انتظار بوده است. علت این امر بیشتر ناشی از اختلاف معنادار نرخ کوانتای منتشر شده از افراد مبتلا می‌باشد. همانطور که در جدول ۴ نیز نشان داده شده است،  $ER$  اتاق نمونه‌گیری حدود دو برابر  $ER$  سالن انتظار می‌باشد که تاثیر آن بصورت افزایش ریسک مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، در هر دو واحد و در سناریوهای مختلف، سطح ریسک متفاوت بود. در هر دو واحد سناریوهای شماره ۲، دارای ریسک انتقال بیشتری بودند. در حقیقت، در سناریوهای شماره ۲، مدت زمان مواجهه و تعداد افراد مبتلا بیشتر از سناریوهای شماره ۱ بودند و طبیعتاً ریسک انتقال عامل عفونی در این سناریوها نسبت حالت اول، افزایش پیدا کرده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که مدیریت تعداد مراجعین حاضر در بخش‌ها و واحدهای مراکز درمانی، و کاهش مدت زمان مواجهه کارکنان و سایر افراد در معرض عفونت، می‌تواند تاثیر چشمگیری در کاهش ریسک ابتلا داشته باشد.

در مطالعه بونانو و همکاران، ریسک انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ قبل و بعد از اجرای اقدامات ایمنی و بهداشتی بررسی شد. سناریوهایی برای مکان‌های عمومی مختلف از قبیل داروخانه، سوپرمارکت، رستوران، اداره پست و بانک طراحی شد. نتایج مدلسازی این مطالعه نشان داد که ریسک انتقال ویروس در رستوران از سایر محیط‌ها بیشتر بوده است. با بررسی جزئی‌تر سناریوی مطالعه، مشخص می‌شود که دلیل آن، تعداد نفرات بیشتری است که به‌صورت همزمان در طول شیفت کاری در رستوران حضور دارند (۵). این امر با یافته‌های مطالعه حاضر در یک راستا می‌باشد، چنانکه در این مطالعه نیز افزایش تعداد نفرات در سناریوهای شماره ۲ در هر دو واحد تحت مطالعه سبب بالارفتن ریسک انتقال هوابرد ویروس گردیده است. از سوی دیگر، در مطالعه بونانو و همکاران، اقدامات بهداشتی و قرنطینه، سبب کاهش معنادار ریسک در محیط‌های مورد بررسی شد. این

انتقال هوابرد ویروس می‌تواند در آن‌ها بالا باشد. بنابراین، در مطالعات بعدی، می‌توان سایر محیط‌ها را نیز مورد ارزیابی قرار داد. علاوه بر این، در مکان‌های مختلف، اقدامات ایمنی و بهداشتی مختلف و متعددی انجام می‌پذیرد و روش ارزیابی ریسک فوق می‌تواند در جهت ارزیابی اثربخشی این اقدامات در کاهش ریسک انتقال ویروس به کار گرفته شود.

### نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که در زمان بروز پاندمی که با مراجعه مبتلایان به مراکز بهداشتی مواجه هستیم، سطح ریسک در واحدهای مختلف مراکز بهداشتی و درمانی تحت سناریوهای در نظر گرفته در اتاق‌های نمونه‌گیری و سالن انتظار قابل توجه می‌باشد و این مقدار هیچگاه صفر نمی‌شود و با وجود تفاوت سطح ریسک بین واحدهای مختلف، اما همواره حداقلی از ریسک انتقال هوابرد ویروس تحت شرایطی وجود خواهد داشت. مقدار این ریسک در اتاق نمونه‌گیری بیشتر از مقدار آن در سالن انتظار بود. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از ماسک باعث کاهش قابل توجه احتمال انتقال هوابرد ویروس کووید-۱۹ می‌شود. از سوی دیگر، مشخص شد که نرخ انتشار کوانتا از افراد مبتلا در هنگام صحبت کردن بیشتر از سایر فعالیت‌های بازدی آنان است. لذا با توجه به پارامترهای دخیل در محاسبه سطح ریسک مربوط به کرونا، به نظر می‌رسد که اتخاذ تدابیر بهداشتی-ایمنی مناسب از جمله جلوگیری از تجمع و تراکم جمعیت، الزام استفاده از ماسک، پرهیز مراجعین از صحبت کردن زیاد و با صدای بلند، رعایت فاصله‌گذاری اجتماعی می‌تواند به کاهش احتمال انتقال هوابرد ویروس کمک نماید. با وجود اینکه پاندمی کرونا پایان یافته است اما خطر بروز سویه‌ها و بیماری‌های واگیر جدید همواره وجود دارد. بنابراین با توجه به زمانبر بودن تولید واکسن و اولویت پیشگیری بر درمان، رعایت موارد فوق الذکر در ابتدای بروز طغیان‌های جدید خانواده این ویروس و یا بیماری‌های ویروسی مشابه می‌تواند از تبدیل آنها به پاندمی و بروز فجایع انسانی جلوگیری نماید.

دقیقه به  $48/3$  درصد می‌رسد (۴۱). همچنین با در نظر گرفتن حد آستانه مرجع برابر با ۱ درصد، حداکثر زمان قابل قبول برای حضور فردی با ماسک و فعالیت کم، ۴۶ دقیقه محاسبه گردید.

بیشتر هم، مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌های آمریکا و سازمان بهداشت جهانی، استفاده از ماسک را برای کلیه افراد جامعه به منظور پیشگیری از انتقال عفونت توصیه کرده بودند (۴۳، ۴۶). البته، استفاده از ماسک تنها ابزار کاهش احتمال انتقال ویروس نیست. چنانکه در مطالعه‌ای، نرخ تهویه یک بار در ساعت ریسک انتقال را نصف و ۶ تهویه در ساعت با ضریب ۸-۱۳ برای عطسه و سرفه کاهش می‌داد. در همین راستا، مطالعه دیگری نشان داد که استفاده از سیستم تهویه تا ۴۲ برابر می‌تواند احتمال انتقال عفونت را کاهش دهد (۴۶). با توجه به این موارد، به نظر می‌رسد که اتخاذ تدابیر ایمنی و بهداشتی مناسب بخصوص در محیط‌های با ریسک بالا لازم است. در کنار فراهم نمودن اقدامات فنی و مهندسی مناسب همچون سیستم تهویه، انجام فرآیندهای مدیریتی و نیز فراهم کردن وسایل حفاظت فردی مناسب شامل دستکش و ماسک بویژه در زمانی که کادر درمان در حال انجام فعالیت‌های با ویژگی تولید آئروسول هستند الزامی است (۴۲). در برخی مواقع همچون خوردن و آشامیدن، امکان استفاده از ماسک وجود ندارد. در چنین شرایطی، می‌توان از سیستم تهویه و تصفیه هوای مناسب، بخار هیدروژن پروکسید و گرما نیز بهره برد (۳۹).

از جمله محدودیت‌های این مطالعه آن است که برخی فرضیه‌های ساده‌کننده لحاظ شده‌اند و از سوی دیگر، برخی متغیرها در نظر گرفته نشده‌اند. برای مثال، نوع سیستم تهویه و نرخ آن و ابعاد واحدهای تحت بررسی از جمله پارامترهایی هستند که پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرند. از سوی دیگر، در این مطالعه صرفاً برخی فعالیت‌ها را مورد بررسی قرار داده و فعالیت‌هایی همچون سرفه که آئروسول‌های بیشتری را به فضا وارد می‌کند مورد مطالعه قرار نداده است. همچنین، محیط‌های شغلی و عمومی بسیاری وجود دارند که به نظر می‌رسد ریسک

## REFERENCES

- Patel ZM, Fernandez-Miranda J, Hwang PH, Nayak JV, Dodd R, Sajjadi H, Jackler RK. Precautions for endoscopic transnasal skull base surgery during the COVID-19 pandemic. *Neurosurgery*. 2020 Apr 15.
- World Health Organization, WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Available from: <https://covid19.who.int/> [Accessed 19 October 2020].
- Lenharo M. WHO declares end to COVID-19's emergency phase. *Nature*. 2023 May 5;882(10.1038).
- Hadei M, Hopke PK, Jonidi A, Shahsavani A. A letter about the airborne transmission of SARS-CoV-2 based on the current evidence. *Aerosol Air Qual Res*. 2020 May;20(5):911-4.
- World Health Organization, Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. Available from: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions> [Accessed 4 August 2020].
- Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environ. Int.* 2020 Aug 1;141:105794.
- Monemi-Bidgoli, M., Afshar, M., & Azadchehr, M. J. (2022). Evaluation of the problems of nurses caring for patients with coronavirus hospitalized in Kashan medical sciences hospitals in 2021. *KAUMS Journal (FEYZ)*, 26(3), 320-328.
- Golbabaie F, Kalantari S. A Review of the Strategies and Policies for the Prevention and Control of the COVID-19 at Workplaces. *Int. J. Occup. Hyg.* 2020;12(1):60-5.
- Kalantary S, Khadem M. Occupation groups and Covid-19. *Saf Health Work*. 2020;10(2).
- Fathi, E., Malekshahi, B. F., HATAMI, V. A., & Nobahari, A. (2020). Health care workers challenges during coronavirus outbreak: the qualitative study.
- Harrichandra A, Ierardi AM, Pavilonis B. An estimation of airborne SARS-CoV-2 infection transmission risk in New York City nail salons. *Toxicol Ind Health*. 2020 Sep;36(9):634-43.
- Noakes CJ, Sleight PA. Applying the Wells-Riley equation to the risk of airborne infection in hospital environments: The importance of stochastic and proximity effects. *In Indoor Air 2008: The 11th International Conference on Indoor Air Quality and Cl* 2008. Leeds.
- Dai H, Zhao B. Association of infected probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces: a Wells-Riley equation based investigation. *MedRxiv*. 2020 Jan 1.
- Pantelic J, Tham KW. Assessment of the ability of different ventilation systems to serve as a control measure against airborne infectious disease transmission using Wells-Riley approach.
- Buonanno G, Morawska L, Stabile L. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications. *Environment International*. 2020 Dec 1;145:106112.
- Jacot D, Greub G, Jaton K, Opota O. Viral load of SARS-CoV-2 across patients and compared to other respiratory viruses. *Microbes and infection*. 2020 Nov 1;22(10):617-21.
- Jones TC, Mühlemann B, Veith T, Biele G, Zuchowski M, Hoffmann J, Stein A, Edelmann A, Corman VM, Drosten C. An analysis of SARS-CoV-2 viral load by patient age. *MedRxiv*. 2020 Jan 1.
- Yu F, Yan L, Wang N, Yang S, Wang L, Tang Y, Gao G, Wang S, Ma C, Xie R, Wang F. Quantitative detection and viral load analysis of SARS-CoV-2 in infected patients. *Clin. Infect. Dis.* 2020 Jul 28;71(15):793-8.
- Lescure FX, Bouadma L, Nguyen D, Parisey M, Wicky PH, Behillil S, Gaymard A, Bouscambert-Duchamp M, Donati F, Le Hingrat Q, Enouf V. Clinical and virological data of the first cases of COVID-19 in Europe: a case series. *Lancet Infect Dis*. 2020 Jun 1;20(6):697-706.
- L'Huillier AG, Torriani G, Pigny F, Kaiser L, Eckerle I. Shedding of infectious SARS-CoV-2 in symptomatic neonates, children and adolescents. *medRxiv*. 2020 Jan 1.
- Shi F, Wu T, Zhu X, Ge Y, Zeng X, Chi Y, Du X, Zhu L, Zhu F, Zhu B, Cui L. Association of viral load with serum biomarkers among COVID-19 cases. *Virology*. 2020 Jul 1;546:122-6.
- To KK, Tsang OT, Leung WS, Tam AR, Wu TC, Lung DC, Yip CC, Cai JP, Chan JM, Chik TS, Lau DP. Temporal profiles of viral load in posterior oropharyngeal saliva samples and serum antibody responses during infection by SARS-CoV-2: an observational cohort study. *Lancet Infect Dis*. 2020 May 1;20(5):565-74.
- Adams, W.C., 1993. Measurement of Breathing Rate

- and Volume in Routinely Performed Daily Activities. Final Report. Human Performance Laboratory, Physical Education Department, University of California, Davis. Human Performance Laboratory, Physical Education Department, University of California, Davis. Prepared for the California Air Resources Board, Contract No. A033-205, April 1993.
24. Morawska LJ, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Corbett S, Chao CY, Li Y, Katoshevski D. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J. Aerosol Sci.* 2009 Mar 1;40(3):256-69.
  25. Feng B, Xu K, Gu S, Zheng S, Zou Q, Xu Y, Yu L, Lou F, Yu F, Jin T, Li Y. Multi-route transmission potential of SARS-CoV-2 in healthcare facilities. *J. Hazard. Mater.* 2021 Jan 15;402:123771.
  26. Yamagishi T, Ohnishi M, Matsunaga N, Kakimoto K, Kamiya H, Okamoto K, Suzuki M, Gu Y, Sakaguchi M, Tajima T, Takaya S. Environmental sampling for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 during a COVID-19 outbreak on the Diamond Princess cruise ship. *J. Infect. Dis.* 2020 Sep 1;222(7):1098-102.
  27. Moreno T, Pintó RM, Bosch A, Moreno N, Alastuey A, Minguillón MC, Anfruns-Estrada E, Guix S, Fuentes C, Buonanno G, Stabile L. Tracing surface and airborne SARS-CoV-2 RNA inside public buses and subway trains. *Environ. Int.* 2021 Feb 1;147:106326.
  28. Aganovic A, Bi Y, Cao G, Drangsholt F, Kurnitski J, Wargocki P. Estimating the impact of indoor relative humidity on SARS-CoV-2 airborne transmission risk using a new modification of the Wells-Riley model. *Building and Environment.* 2021 Nov 1;205:108278.
  29. Wang AB, Zhang X, Gao LJ, Zhang T, Xu HJ, Bi YJ. A Review of Filtration Performance of Protective Masks. *IJERPH.* 2023 Jan 28;20(3):2346.
  30. Pan J, Harb C, Leng W, Marr LC. Inward and outward effectiveness of cloth masks, a surgical mask, and a face shield. *Aerosol Sci. Technol.* 2021 Apr 21;55(6):718-33.
  31. Hill WC, Hull MS, MacCuspie RI. Testing of commercial masks and respirators and cotton mask insert materials using SARS-CoV-2 virion-sized particulates: Comparison of ideal aerosol filtration efficiency versus fitted filtration efficiency. *Nano letters.* 2020 Sep 28;20(10):7642-7.
  32. Yang L, Wang X, Li M, Zhou X, Liu S, Zhang H, Arens E, Zhai Y. Carbon dioxide generation rates of different age and gender under various activity levels. *Build Environ.* 2020 Dec 1;186:107317.
  33. Rab S, Javaid M, Haleem A, Vaishya R. Face masks are new normal after COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews.* 2020 Nov 1;14(6):1617-9.
  34. Li T, Liu Y, Li M, Qian X, Dai SY. Mask or no mask for COVID-19: A public health and market study. *PloS one.* 2020 Aug 14;15(8):e0237691.
  35. Abboah-Offei M, Salifu Y, Adewale B, Bayuo J, Ofosu-Poku R, Opere-Lokko EB. A rapid review of the use of face mask in preventing the spread of COVID-19. *IJNS.* 2021 Nov 1;3:100013.
  36. Centers for Disease Control and Prevention, Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission. Available from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html> [Accessed 13 May 2021].
  37. Hu J, Lei C, Chen Z, Liu W, Hu X, Pei R, Su Z, Deng F, Huang Y, Sun X, Cao J. Distribution of airborne SARS-CoV-2 and possible aerosol transmission in Wuhan hospitals, China. *Natl. Sci. Rev.* 2020 Dec;7(12):1865-7.
  38. Zemouri C, Awad SF, Volgenant CM, Crielaard W, Laheij AM, De Soet JJ. Modeling of the transmission of coronaviruses, measles virus, influenza virus, Mycobacterium tuberculosis, and Legionella pneumophila in dental clinics. *J. Dent. Res.* 2020 Sep;99(10):1192-8.
  39. Poydenot F, Abdourahmane I, Caplain E, Der S, Haiech J, Jallon A, Khoutami I, Loucif A, Marinov E, Andreotti B. Risk assessment for long and short range airborne transmission of SARS-CoV-2, indoors and outdoors. *arXiv preprint arXiv:2106.09489.* 2021 Apr 29.
  40. Lednický JA, Lauzard M, Fan ZH, Jutla A, Tilly TB, Gangwar M, Usmani M, Shankar SN, Mohamed K, Eiguren-Fernandez A, Stephenson CJ. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *IJID.* 2020 Nov 1;100:476-82.
  41. Qiu G, Spillmann M, Tang J, Zhao YB, Tao Y, Zhang X, Geschwindner H, Saleh L, Zingg W, Wang J. On-Site Quantification and Infection Risk Assessment of Airborne SARS-CoV-2 Virus Via a Nanoplasmonic Bioaerosol Sensing System in Healthcare Settings.

- Advanced Science. 2022 Dec;9(35):2204774.
42. Guo W, Fu Y, Jia R, Guo Z, Su C, Li J, Zhao X, Jin Y, Li B, Fan J, Zhang C. Visualization of the infection risk assessment of SARS-CoV-2 through aerosol and surface transmission in a negative-pressure ward. *Environ. Int.* 2022 Apr 1;162:107153.
43. Dumont-Leblond N, Veillette M, Mubareka S, Yip L, Longtin Y, Jouvett P, Paquet Bolduc B, Godbout S, Kobinger G, McGeer A, Mikszewski A. Low incidence of airborne SARS-CoV-2 in acute care hospital rooms with optimized ventilation. *Emerging microbes & infections.* 2020 Jan 1;9(1):2597-605.
44. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Effect of voicing and articulation manner on aerosol particle emission during human speech. *PLoS One.* 2020;15(1):e0227699. .
45. Yan J, Grantham M, Pantelic J, Bueno de Mesquita PJ, Albert B, Liu F, Ehrman S, Milton DK, Emit Consortium. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2018 Jan 30;115(5):1081-6.
46. Schijven J, Vermeulen LC, Swart A, Meijer A, Duizer E, de Roda Husman AM. Quantitative microbial risk assessment for airborne transmission of SARS-CoV-2 via breathing, speaking, singing, coughing, and sneezing. *Environmental health perspectives.* 2021 Apr 1;129(4):047002.
47. Grinshpun SA, Haruta H, Eninger RM, Reponen T, McKay RT, Lee SA. Performance of an N95 filtering facepiece particulate respirator and a surgical mask during human breathing: two pathways for particle penetration. *J Occup Environ Hyg.* 2009 Sep 9;6(10):593-603.
48. T. Oberg, L. M. Brosseau, Surgical mask filter and fit performance. *Am. J. Infect. Control* 36, 276–282 (2008).