

بررسی تأثیر دما، رطوبت محیط و وزش باد بر فاصله اجتماعی ایمن در دوران پاندمی‌ها (مطالعه موردی ویروس کرونا)

عارف نوری^۱ ، مهرداد کریمی مشاور^{۱*} ^۱ گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: در مطالعه پیش رو تأثیر دما، رطوبت محیط و وزش باد بر انتقال و انتشار ویروس‌های ناشی از سرفه‌ی افراد و تعیین فاصله اجتماعی ایمن برای جلوگیری از گسترش پاندمی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: به منظور شبیه‌سازی نحوه انتقال و انتشار قطرات سرفه، یک مجموعه آزمایشگاهی طراحی شد. مجموعه آزمایشگاهی شامل یک مدار هیدرولیکی، سیستم دمنده، سیستم کنترل دما و دستگاه تولید رطوبت به ترتیب برای شبیه‌سازی پاشش قطرات سرفه افراد، باد، دمای محیط و رطوبت محیط بود. در این پژوهش از روش پردازش تصویر برای ارزیابی انتقال و انتشار قطرات استفاده شد. ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل مطالعه رعایت شد.

یافته‌ها: پردازش تصاویر نشان داد که با ثابت نگه‌داشتن درصد رطوبت فضای آزمایشگاه و تغییر دمای محیط بین ۱۷/۱ تا ۴۶/۷ درجه سانتی‌گراد، تغییرات دما تأثیر معنی‌داری بر انتشار قطرات ندارد. همچنین با ثابت نگه‌داشتن دمای محیط و تغییر دادن رطوبت محیط بین ۱۰ تا ۸۰ درصد، تغییرات رطوبت تأثیر معنی‌داری بر انتشار قطرات نداشت. در این شرایط قطرات پس از طی کردن مسافت $10 \pm 0.1/6$ و $10 \pm 0.1/2$ متر به ترتیب به ارتفاع ۱/۵۵ و ۱/۰۵ متر رسیدند. متغیرهای سرعت و جهت وزش باد تأثیر معنی‌داری بر انتقال و انتشار قطرات دارند.

نتیجه‌گیری: سرعت و جهت وزش باد مهم‌ترین پارامتر در انتقال و انتشار ویروس‌های ناشی از سرفه افراد بوده و تعیین فاصله اجتماعی ایمن بر مبنای این پارامتر تعیین می‌گردد. به طور کلی در محیط بدون وزش باد فاصله اجتماعی ایمن بین افراد $10 \pm 0.1/63$ متر پیشنهاد می‌شود. **کلید واژه‌ها:** Covid-19، دما، رطوبت، وزش باد، فاصله اجتماعی ایمن

Please cite this article as: Nouri A, Karimi Moshaver M. Effect of temperature, humidity, and wind on safe social distance during pandemics (A case study of Coronavirus). Journal of Health in the Field 2024; 12(3):53-64 **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i3.46294>.

*نویسنده مسئول: گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

Email: mkmoshaver@basu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

مقدمه

در دهه‌های اخیر، شاهد گسترش سریع شهرنشینی در جهان بوده‌ایم و این گسترش منجر به تغییرات محیط شهری و همچنین تغییر سبک زندگی ساکنان شده است. این امر می‌تواند به گونه‌ای مستقل و هم‌افزا منجر به مشکلات سلامت انسان شود [۷-۱]. با گسترش شهرنشینی، رشد جمعیت‌های شهری و حمل و نقل سریع، خطر انتقال جهانی بیماری‌های عفونی جدید بالا رفته [۸] و شهرنشینی عامل اصلی بیماری‌های عفونی در حال ظهور است [۹].

در سال ۲۰۱۹ با شیوع ویروس Covid-19 [۱۰، ۱۱]، خدمات بهداشتی و درمانی مجبور به اجرای استراتژی‌هایی با هدف کاهش اثرات منفی آن شده‌اند [۱۳، ۱۲]، اما پیچیدگی رفتار ویروس Covid-19 و تأثیر عوامل مختلف مانند فاصله اجتماعی، محدودیت‌های سفر، شرایط محیطی مختلف و موارد دیگر در انتشار و انتقال این ویروس، اجرای استراتژی‌های کاهش اثرات منفی ویروس Covid-19 را با چالش جدی مواجه کرده است [۱۶-۱۴]. از این رو، برای کمک به مبارزه با Covid-19، رابطه بین شرایط محیطی و گسترش آن، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است [۱۷]. شواهد فعلی نشان می‌دهد که ویروس Covid-19 اغلب بین افرادی که در تماس نزدیک با یکدیگر هستند، به عنوان مثال در فاصله مکالمه، پخش می‌شود. این ویروس می‌تواند از دهان یا بینی فرد آلوده به صورت ذرات کوچک مایع در هنگام سرفه، عطسه، صحبت کردن، آواز خواندن و یا نفس کشیدن پخش شود. در صورتی که ذرات عفونی که از هوا عبور کنند، در فاصله کوتاهی استنشاق شوند (که اغلب به آن انتقال هوای کوتاه‌برد یا انتقال هوا برد کوتاه‌برد می‌گویند) و یا اگر ذرات عفونی مستقیماً با چشم‌ها، بینی یا دهان تماس پیدا کنند، فرد دیگری می‌تواند به ویروس مبتلا شود [۱۸]. با توجه به اینکه Covid-19 به طور عمده از طریق قطرات تنفسی و ذرات کوچک مایع خارج شده از دهان هنگام تماس بین افراد منتقل می‌شود [۲۰، ۱۹]، این ذرات کوچک مایع به طور عمده شامل آب هستند و در بیشتر مطالعات انجام شده در مورد تبخیر قطرات بازدمی به عنوان آب خالص در نظر گرفته می‌شوند [۲۵-۲۱]. از طرفی توانایی انتقال بیماری توسط قطرات بزرگ به طور قابل توجهی بیشتر از قطرات کوچک است [۲۶]. این ذرات کوچک مایع که به واسطه بزاق دهان ناشی از سرفه افراد ایجاد می‌شوند با سرعت ۲۲ متر بر ثانیه خارج می‌شوند و قطرات بزاق می‌توانند بیش از ۲ متر حرکت کنند [۲۷]. با توجه به مطالب گفته شده و از آنجا که سرفه بیشترین غلظت قطرات را ایجاد می‌کند [۲۸] در پژوهش پیش رو به منظور شبیه‌سازی قطرات سرفه با استفاده از نازل، قطرات آب در فشار ثابت ۱ بار به فاصله بیش از دو متر (حدوداً ۲/۵ متر) پرتاب شد و تأثیر تغییرات دما، رطوبت و وزش باد در نحوه پاشش قطرات مورد بررسی قرار گرفت. این شبیه‌سازی امکان حضور افراد در فضاهای باز و تعاملات اجتماعی با حفظ فاصله اجتماعی ایمن فراهم می‌کند؛ زیرا

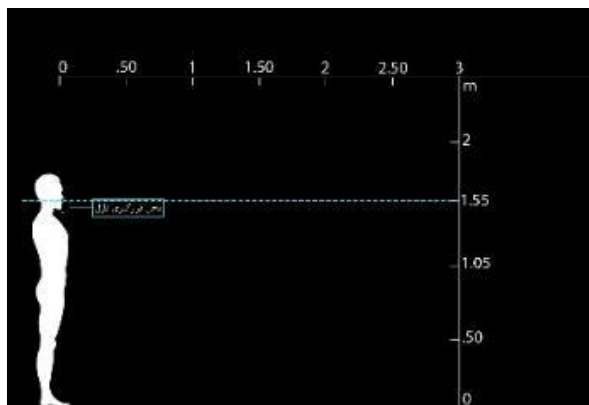
اگرچه کاهش تحرک کلی ممکن است یک استراتژی خوب برای کاهش انتقال Covid-19 باشد و موفقیت اقدامات قرنطینه را تأیید کند [۳۱-۲۹]، شواهد نشان می‌دهد حضور در طبیعت و فضاهای سبز و انجام فعالیت در فضاهای باز در طول همه‌گیری با کاهش افسردگی، اضطراب، استرس و شادی و رضایت بیشتر از زندگی مرتبط است [۳۸-۳۲]. با این وجود محیط‌های ساخته شده و افرادی که در این محیط‌ها حضور دارند و با یکدیگر در تعامل هستند، هر دو بر شیوع این ویروس تأثیر می‌گذارند [۴۱-۳۹]. از طرفی عوامل هواشناسی ممکن است نقش مهمی در انتقال ویروس ایفا کنند [۴۴-۴۲]. به عنوان مثال، تأیید شده است که دما و رطوبت نسبی هر دو رابطه منفی با موارد جدید ابتلا به ویروس و مرگ و میر ناشی از آن دارند [۴۵]. افزایش دما ممکن است باعث افزایش موارد روزانه ابتلا به ویروس در برخی شهرها شود [۴۶]. سرعت باد، کیفیت هوا و قرار گرفتن در معرض نور خورشید تأثیر مثبتی بر بروز عوارض مرتبط با ویروس Covid-19 دارند [۴۹-۴۷].

Srivastava و همکاران نشان دادند که در شرایط مساعد (هنگامی که فرد مبتلا به ویروس ذرات ریزی را که در هوا معلق هستند، بازدم می‌کند و این ذرات به اندازه کافی توسط یک فرد مستعد تنفس شود)، آئروسول‌ها به انتقال ویروس کمک می‌کنند [۵۰]. Jing و همکاران بررسی کردند که اندازه ذرات اولیه قطرات تنفسی، دمای محیط و رطوبت نسبی همگی تأثیر قابل توجهی بر زمان بقا و فاصله انتقال قطرات تنفسی دارند [۵۱]. Parvaz و همکاران نشان دادند که دما و سرعت باد از عوامل مهم مؤثر بر عفونت Covid-19 هستند. افزایش دما و سرعت باد، تعداد مبتلایان به ویروس را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، هیچ ارتباط قابل توجهی بین رطوبت و بروز Covid-19 یافت نشد. در مجموع، آنها دریافتند که آب و هوا ممکن است عامل مهمی در تعیین نرخ بروز این پاندمی باشد [۵۲]. Feng و همکاران با یک مدل دینامیک ذرات سیال محاسباتی (Computational Fluid-Particle Dynamics: CFPD) به بررسی تأثیر باد و رطوبت محیط بر انتقال قطرات پرداختند، آنها دریافتند که با شرایط پیچیده باد و رطوبت محیطی، سیاست فاصله گذاری اجتماعی ۱/۸۳ متری ممکن است برای محافظت از انتقال آئروسول بین افراد کافی نباشد [۵۳].

از طرفی Heckert و همکاران نشان دادند همه‌گیری Covid-19 ارزش بالقوه دسترسی به فضاهای سبز و اهمیت آن را در برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری در مواجهه با همه‌گیری‌های آینده برجسته کرده است [۵۴]. Xie و همکاران پارک‌های شهری و فضاهای باز بزرگ را به عنوان مکانی امن برای فعالیت‌های بیرونی و تعامل اجتماعی افراد در طول همه‌گیری معرفی کردند. همچنین این فضاها یک منطقه امن برای حفظ سلامت افراد و بهبود کیفیت زندگی هستند [۵۵]. در حالی که Choo و همکاران بررسی کردند که تراکم جمعیت، تراکم جاده و جابه‌جایی افراد به صورت پیاده و استفاده از حمل و نقل عمومی به طور

کاری یکبار قادر به پرتاب قطرات به فاصله حدوداً $2/5$ متری می‌باشد. از این‌رو در پژوهش پیش‌رو به منظور شبیه‌سازی قطرات سرفه با استفاده از نازل، قطرات آب در فشار ثابت 1 بار به فاصله بیش از دو متر (حدوداً $2/5$ متر) پرتاب شد و تأثیر تغییرات دما، رطوبت و وزش باد در نحوه پاشش قطرات مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط مختلف آزمایش با استفاده از یک مانومتر و نصب شیر بای پس، فشار آب ثابت نگه داشته شد. به منظور کنترل پایداری پارامترهای دما، رطوبت و وزش باد در هر آزمایش به ترتیب از دماسنج دیجیتال با دقت یک دهم درجه سانتی‌گراد، رطوبت‌سنج دیجیتال با دقت پنج درصد و بادسنج با دقت پنج صدم متر بر ثانیه استفاده شد. برای بهبود شرایط پردازش تصاویر و تعیین رفرنس‌های عددی در فضای دو بعدی (X و Y) از یک صفحه مدرج در راستاهای طولی و ارتفاعی استفاده شد (شکل شماره ۱).

همچنین برای بهبود آشکارسازی قطرات در تصاویر، یک منبع نور خطی که با زاویه 45 درجه نسبت به راستای انتشار قطرات نصب شد. به منظور شبیه‌سازی وزش باد، از یک فن دمنده استفاده شد. برای ایجاد شرایط مختلف جهت وزش باد، دمنده یکبار در جهت پشت نازل و در راستای پاشش قطرات و یکبار در جهت روبروی نازل و راستای مخالف پاشش قطرات نصب شد. برای تنظیم سرعت باد از یک دیمپر در مسیر جریان الکتریکی ورودی فن دمنده استفاده شد. همچنین برای مشاهده رفتار قطرات از دوربین Canon Eos 1300D با لنز 18-135mm استفاده شد. دوربین در فاصله مناسب و با زاویه 90 درجه نسبت به راستای پاشش قطرات در ارتفاع مناسب بر روی پایه‌ی دوربین نصب شد. ملاحظات ایمنی و اخلاقی در این تحقیق رعایت گردید.



شکل ۱- محل قرارگیری نازل در ارتفاع $1/55$ متری

Figure 1- Nozzle location at a height of 1.55 meters

معرفی تجهیزات آزمایشگاهی

برای تغییر و سنجش پارامترهای دما، رطوبت و وزش باد از وسایل آزمایشگاهی استفاده شد. همان‌طور که در شکل شماره ۲ نشان داده

قابل توجهی بر شیوع ویروس تأثیر می‌گذارد و سایر معیارهای تراکم شهری مانند تراکم مسکن و ساختمان یا کاربری زمین تأثیرات حداقلی دارند [۵۶]. Zhao و همکاران به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamics: CFD) نشان دادند که چگونه قطرات تنفسی از طریق سرفه در محیط‌های غذاخوری پخش می‌شوند و چگونه این قطرات بر دیگران تأثیر می‌گذارند. آنها طرحی از دیواره‌های جداکننده برای میز ناهارخوری پیشنهاد کردند که انتقال Covid-19 را به حداقل می‌رساند [۵۷].

به دلیل اهمیت حضور افراد در فضاهای شهری و تعامل با یکدیگر در دوران پاندمی‌ها، درک انتقال و انتشار قطرات خارج شده از دهان هنگام سرفه و تأثیر عوامل مختلف جوی در تعیین فاصله اجتماعی ایمن و سلامت افراد از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات انجام شده در زمینه انتقال ویروس‌ها عمدتاً به بررسی رفتار آئروسول‌ها و ماندگاری ویروس‌ها بر روی سطوح پرداخته‌اند و در برخی مطالعات قطرات حامل ویروس خارج شده از دهان هنگام سرفه و انتقال مستقیم آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعات انجام شده محوریت بررسی‌ها بر پایه حل عددی معادلات دیفرانسیل حاکم بر فرایند انتقال (advection) و انتشار (dispersion) دینامیک سیالات محاسباتی استوار است. این در حالی است که در مطالعه حاضر با طراحی و ساخت یک مجموعه آزمایشگاهی، شرایط انتقال و انتشار ویروس در حالت‌های مختلف و با شرایط جوی مختلف شبیه‌سازی شده و برای تحلیل داده‌ها از روش‌های پردازش تصویر استفاده شد. درک رفتار قطرات حامل ویروس و فاصله اجتماعی ایمن می‌تواند راهنمای طراحان و برنامه‌ریزان شهری برای پاندمی‌های مشابه کرونا باشد تا فضاهای شهری را بر اساس این فاصله پیش‌بینی کنند. درک دقیق چگونگی تأثیر عوامل جوی بر انتقال ویروس‌ها می‌تواند راهنمای مؤثری برای طراحی محیط‌های شهری ایمن‌تر و تدوین دستورالعمل‌های فاصله‌گذاری اجتماعی باشد. این مطالعه به طور خاص بر تأثیرات دما، رطوبت و سرعت و جهت وزش باد بر تعیین فاصله اجتماعی ایمن تمرکز دارد تا بتواند به طراحان شهری و مسئولان بهداشت عمومی در مدیریت بهتر فضاهای شهری در دوران پاندمی‌ها کمک کند.

مواد و روش‌ها

به منظور شبیه‌سازی سرفه افراد، یک نازل مه‌پاش در ارتفاع $1/55$ متری (با توجه به میانگین قد افراد در کشور ایران) نصب شد. میانگین قد مردان در ایران $1/74$ متر و میانگین قد زنان $1/61$ متر است [۵۸]؛ بنابراین میانگین قد مردان و زنان $1/675$ متر است. $12/5$ سانتی‌متر برای فاصله دهان تا بالای سر از این ارتفاع کم شد و نازل در ارتفاع $1/55$ متری قرار گرفت. با توجه به آزمون و خطاهای انجام شده برای تعیین فشار مناسب سیال، مشخص شد که نازل نصب شده در فشار

آزمایشگاه از هیتر قابل تنظیم و برای تنظیم رطوبت محیط آزمایشگاه از دستگاه بخور و برای تنظیم میزان وزش باد از فن دمنده مجهز به دیمر کنترل دور فن استفاده شد.

شده است، دماسنج، رطوبت سنج و بادسنج برای اندازه گیری متغیرهای دما، رطوبت محیط و سرعت وزش باد و مانومتر شیردار برای تنظیم فشار آب مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای تنظیم دمای محیط

جدول ۱- مشخصات تجهیزات سنجش آزمایشگاهی

Table 1- Laboratory measurement equipment specifications

نام دستگاه	مدل دستگاه	محدوده اندازه گیری	دقت اندازه گیری
دماسنج دیجیتالی	HTC-2	دما بیرونی: از ۵۰- تا ۷۰+ درجه سانتی گراد دما بیرونی: از ۵۰- تا ۷۰+ درجه سانتی گراد	$\pm 1^\circ\text{C}$ درجه سانتی گراد
رطوبت سنج دیجیتالی	HTC-2	۱۰ تا ۹۹ درصد	$\pm 5\%$ درصد
بادسنج دیجیتالی	Benetech GM816A	۸/ تا ۳۰ متر بر ثانیه	$\pm 5\%$ درصد



دماسنج و رطوبت سنج بادسنج مانومتر و شیر بای پس دستگاه بخور سرد هیتر قابل تنظیم فن دمنده

شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاه مورد استفاده در مجموعه آزمایشگاهی

Figure 2- Laboratory equipment used in the laboratory complex

محدوده تغییرات جهت وزش باد در آزمایش

برای بررسی تأثیر جهت وزش باد، منبع وزش باد در دو جهت پشت سر و روبروی نازل قرار گرفت. در تمام مراحل بررسی تأثیر وزش باد دما، رطوبت محیط و فشار آب تقریباً ثابت نگه داشته شد، با توجه به اینکه تصویربرداری به نحوی انجام شد که در تمامی تصاویر به طور همزمان اعداد وسایل اندازه گیری (سرعت باد، دما و رطوبت) ثبت شد؛ لذا در تمامی تصاویر به طور همزمان نتایج پاشش قطرات و وسایل اندازه گیری (دماسنج، رطوبت سنج و بادسنج) گنجانده شده است. از این رو تمام پارامترهای مورد بررسی به صورت لحظه ای در حال رصد بود. از طرفی با توجه به تنظیم فن دمنده توسط دیمر و عکس برداری سریع از پاشش قطرات، سرعت باد در بازه زمانی خیلی کوتاه تأثیر معنی داری بر پارامترهای دما و رطوبت نداشت. بر اساس میانگین ماهانه داده های هواشناسی اخذ شده از اداره هواشناسی ایستگاه اکباتان شهر تهران، در بازه زمانی سال های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ حداکثر سرعت وزش باد ۴/۶ متر بر ثانیه بود؛ لذا در آزمایش های انجام شده سرعت وزش باد در محیط

محدوده تغییرات دما در آزمایش

برای بررسی تأثیر دما در انتقال و انتشار قطرات در محیط بدون وزش باد، رطوبت محیط و فشار آب ثابت نگه داشته شد. آزمایش ها در دمای ۱۷/۱ درجه سانتی گراد و رطوبت محیط ۲۶ درصد انجام شد. سپس با استفاده از منبع گرمایشی دمای آزمایشگاه تا ۴۶/۷ درجه سانتی گراد افزایش یافت و رطوبت محیط نیز تقریباً ثابت نگه داشته شد (رطوبت محیط ۲۰ درصد).

محدوده تغییرات رطوبت محیط در آزمایش

برای بررسی تأثیر رطوبت محیط بر انتشار قطرات در محیط بدون وزش باد، دمای محیط و فشار آب ثابت نگه داشته شد. آزمایش ها یکبار در شرایط آزمایشگاه یعنی دمای ۱۷/۵ درجه سانتی گراد و رطوبت محیط ۱۰ درصد انجام شد. سپس با استفاده از منبع تولید بخار آب، رطوبت محیط تا ۸۵ درصد افزایش یافت و دمای محیط نیز تقریباً ثابت نگه داشته شد (دمای ۱۸ درجه سانتی گراد).

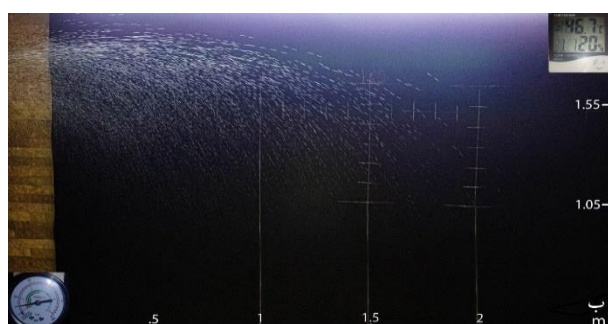
تأثیر دما و رطوبت

با توجه به شکل شماره ۳ مشخص گردید، رفتار انتشاری قطرات با ثابت ماندن متغیرهای وزش باد و رطوبت محیط و تغییر دما در بازه ۱۷/۱ الی ۴۶/۷ درجه سانتی‌گراد تغییر نکرد. قطرات که از ارتفاع ۱/۵۵ متری پرتاب شدند، پس از طی کردن مسافت ۱/۶۳ متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۵۵ متری سقوط کردند و پس از طی کردن مسافت تقریباً ۲ متر قطرات به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۰۵ متری سقوط کردند.

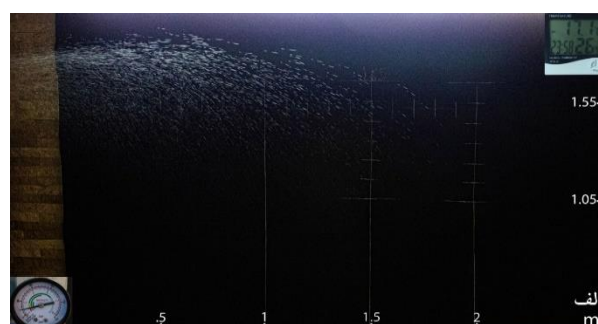
آزمایشگاه ۴/۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در این بخش، نتایج آزمایش‌ها از نظر تغییر دما، رطوبت محیط و جهت وزش باد بر روی انتقال و انتشار قطرات خارج شده از نازل ارائه و تجزیه و تحلیل می‌شوند.



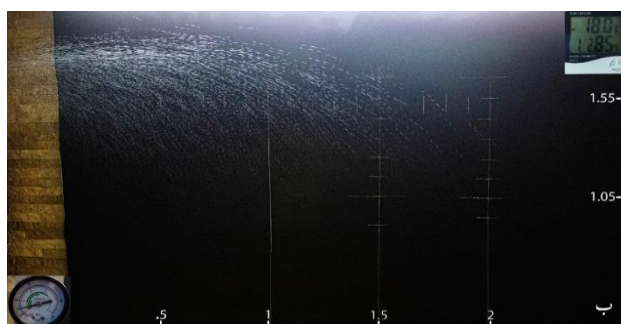
(ب)



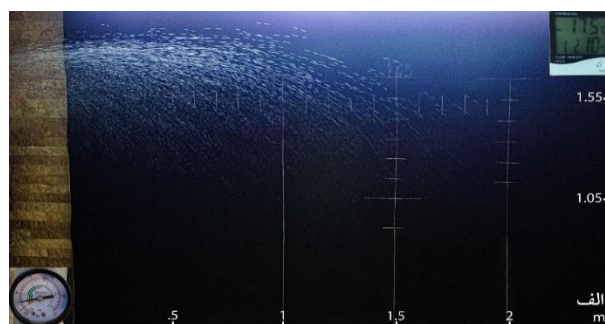
(الف)

شکل ۳- تأثیر دما بر انتشار قطرات، در دمای ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد (الف)؛ در دمای ۴۶/۷ درجه سانتی‌گراد (ب)

Figure 3- Effect of temperature on droplet dispersion at 17.1 °C (A); 46.7 °C (B)



(ب)



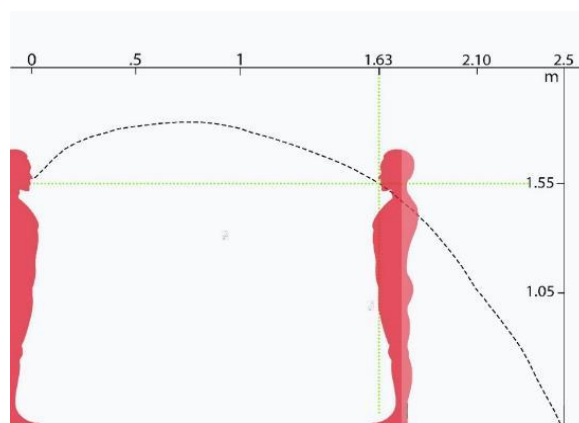
(الف)

شکل ۴- تأثیر میزان رطوبت بر انتشار قطرات، در رطوبت ۱۰ درصد (الف)؛ در رطوبت ۸۵ درصد (ب)

Figure 4- Effect of humidity on droplet dispersion at 10% humidity (A); at 85% humidity (B)

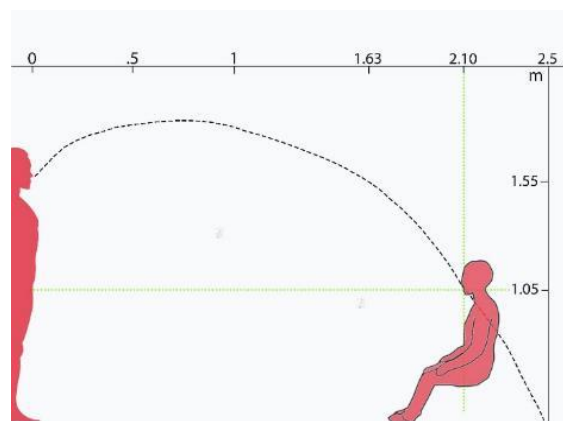
مسافت ۱/۶۳ متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۵۵ متری می‌رسند. در حالتی که فردی ایستاده با فردی که نشسته است در حال گفتگو باشد، این فاصله افزایش می‌یابد. در این حالت قطرات پس از طی کردن مسافت بیش از ۲ متر به ارتفاع کمتر از ۱/۰۵ متری می‌رسند که فاصله ایمن پیشنهادی برای جلوگیری از انتقال ویروس بیش از دو متر است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است در این حالت فاصله $2/10 \pm 0/10$ متری به عنوان فاصله اجتماعی ایمن پیشنهاد می‌شود.

در شکل شماره ۴ نیز مشاهده می‌شود تغییر رطوبت در بازه ۱۰ الی ۸۵ درصد با ثابت ماندن سایر متغیرها، در مسافت طی شده توسط قطرات تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد. قطرات پس از طی کردن مسافت ۱/۶۳ متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۵۵ سانتی‌متری و پس از طی کردن مسافت تقریباً ۲ متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۰۵ متری سقوط کردند. همان‌طور که در شکل شماره ۵ مشخص است، در شرایط نبود وزش باد، فاصله $1/60 \pm 0/10$ متری می‌تواند فاصله ایمن برای جلوگیری از انتقال مستقیم ویروس بین افراد در حالت ایستاده باشد؛ زیرا قطرات پس از طی کردن



شکل ۵- فاصله اجتماعی ایمن بین افراد در حالت ایستاده

Figure 5- Safe social distance between people in a standing position



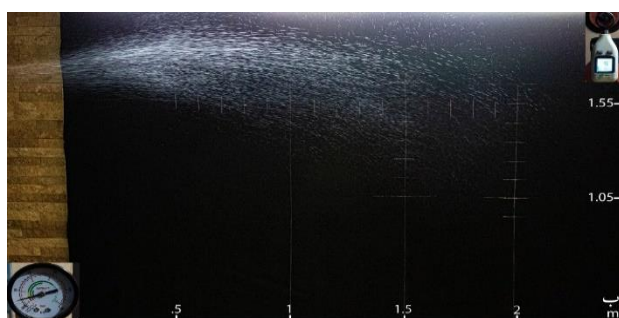
شکل ۶- فاصله اجتماعی ایمن بین فردی که ایستاده و فردی که نشسته

Figure 6- Safe social distance between a person standing and a person sitting

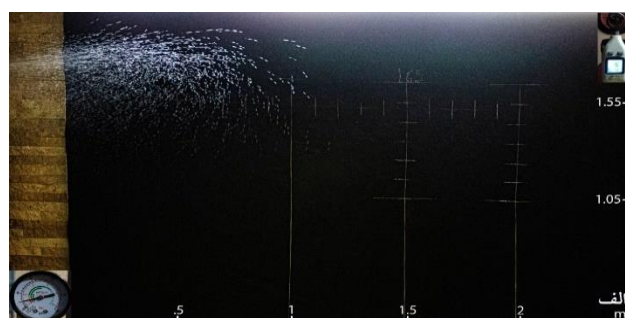
تأثیر وزش باد

طی شده توسط قطرات تغییر معنی‌داری داشت به طوری که قطرات پس از طی کردن مسافت بیش از دو متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۵۵ متر و پس از طی کردن مسافت بیش از ۲/۵ متر به ارتفاع پایین‌تر از ۱/۰۵ متری سقوط کردند (شکل شماره ۸). در جدول شماره ۲، نتایج آزمایش‌ها به صورت خلاصه آورده شده است.

همان طور که در شکل شماره ۷ نشان داده شده است، تأثیر وزش باد با سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه (با ثابت ماندن سایر متغیرها) بر قطرات در دو جهت مورد بررسی قرار گرفت. هنگامی که منبع وزش باد در راستای مخالف پاشش قطرات قرار گرفت، بیشتر قطرات مسافت یک متر را طی کردند. هنگامی که منبع وزش باد در پشت نازل قرار گرفت، مسافت



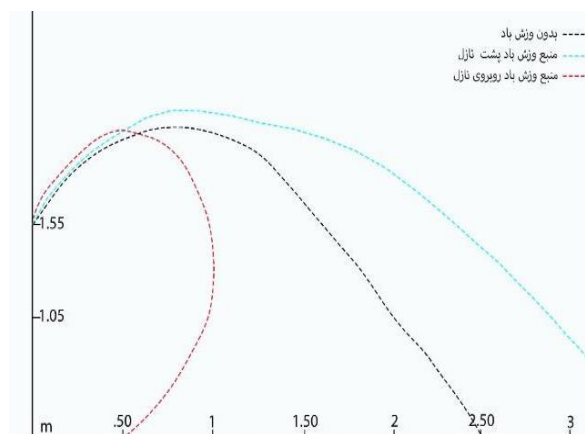
(ب)



(الف)

شکل ۷- تأثیر وزش باد بر انتشار قطرات منبع وزش باد، روبروی نازل (الف)؛ منبع وزش باد پشت نازل (ب)

Figure 7- Effect of wind on droplet dispersion, wind source in front of the nozzle (A); wind source behind the nozzle (B)



شکل ۸ - فاصله اجتماعی ایمن در حالت‌های مختلف وزش باد

Figure 8- Safe social distancing in different wind conditions

جدول ۲- تأثیر دما، رطوبت محیط و وزش باد بر انتشار قطرات

Table 2- The effect of temperature, ambient humidity, and wind on droplet dispersion

ردیف	دما (°C)	رطوبت (%)	جهت وزش باد	سرعت وزش باد (m/s)	مسافت طی شده توسط قطرات (m)	ارتفاع (m)	فاصله اجتماعی ایمن (m)
۱	۱۷/۱	۲۶	—	—	۱/۶۳	۱/۵۵	۱/۶۳
۲	۴۶/۷	۲۰	—	—	۱/۶۳	۱/۰۵	۲/۱۰
۳	۱۷/۵	۱۰	—	—	۱/۶۳	۱/۵۵	۱/۶۳
۴	۱۸	۸۵	—	—	۲/۱۰	۱/۰۵	۲/۱۰
۵	۱۵/۳	۱۰	روبروی نازل	۴/۶	۱/۲۰	۱/۵۵	۱/۲۰
۶	۱۵/۳	۱۰	پشت نازل	۴/۶	۲/۳۵	۱/۵۵	۲/۳۵
۷	۱۵/۳	۱۰	روبروی نازل	۴/۶	۱	۱/۰۵	۱
۸	۱۵/۳	۱۰	پشت نازل	۴/۶	۲/۹۰	۱/۰۵	۲/۹۰

انتقال و انتشار آئروسل‌ها از روش‌های امان محدود برای تحلیل پدیده انتقال و انتشار سیالات و حل عددی معادلات دیفرانسیل حاکم بر جابه‌جایی سیالات در محیط با جریان آزاد استفاده شده است. در این روش‌ها با توجه به مش‌بندی‌های انجام شده و تعیین شبکه حل معادلات دیفرانسیل و شرایط مرزی در نظر گرفته شده تخمین قابل قبولی از نحوه انتشار قطرات ارائه می‌شود. با توجه به آزمایش‌های انجام شده در پژوهش پیشرو نتایج به دست آمده مطابقت قابل قبولی با نتایج حاصله از روش‌های عددی [۵۳] داشته که نشانگر آن است که روش‌های عددی در تحلیل نحوه انتقال و انتشار قطرات با روش‌های آزمایشگاهی همپوشانی داشته، با این تفاوت که در روش‌های عددی پارامترهای مؤثر در حل معادلات (مانند شرایط مرزی و مش‌بندی شبکه حل معادلات) بر نتایج حاصله تأثیرگذار بوده و همچنین از برخی عوامل فیزیکی مانند فشار هوای محیط و... صرف‌نظر می‌شود. این در حالی است که در روش آزمایشگاهی مشاهدات به صورت عینی بوده و تمام پارامترهای فیزیکی عیناً شبیه‌سازی می‌شود.

همان طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، باد با سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه در جهات مختلف تغییراتی معنی‌داری بر روی مسافت طی شده توسط قطرات دارد. وزش باد با سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه فاصله اجتماعی ایمن ۱/۶۰ متری را در حالتی که منبع در پشت نازل قرار گرفت به بیش از دو متر افزایش می‌دهد.

بحث

دوران پاندمی به‌عنوان مثال دوران همه‌گیری ویروس Covid-19، فرصتی مناسب را برای کشورهای مختلف ایجاد می‌کند تا درباره رویدادهای گذشته تأمل کرده و یاد بگیرند که چه چیزی را می‌توان برای پاسخ‌های آینده در دوران همه‌گیرهای مشابه، بهبود بخشید [۵۹]. مطالعه و بررسی عوامل تأثیرگذار در انتقال ویروس و نحوه انتقال آن می‌تواند دانش طراحان و برنامه‌ریزان شهری را برای پاندمی‌های مشابه ارتقا دهد. با توجه به اهمیت فاصله اجتماعی ایمن در طراحی فضاهای شهر تأثیر دما، رطوبت، وزش باد و محدودیت‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. همان طور که اشاره شد، در اغلب مطالعات انجام شده برای تحلیل نحوه

فاصله‌گذاری‌های ایمن در شرایط پاندمی‌ها باشد که به طراحان و برنامه‌ریزان اجازه می‌دهد تا در طول یک بیماری همه‌گیر فضاهای ایمن شهری را طراحی کنند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر دما، رطوبت و وزش باد بر فاصله اجتماعی ایمن در دوران پاندمی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای شبیه‌سازی سرفه افراد و بررسی قطرات خارج شده از دهان هنگام سرفه، یک نازل مه‌پاش مورد استفاده قرار گرفت که با میزان فشار کارکرد این نازل متناسب برای شبیه‌سازی سرفه کالیبره شد و سپس با تصویربرداری پیوسته در شرایط مختلف آزمایش و پردازش تصاویر حاصله نتایج ذیل به دست آمد:

در محیط‌هایی که هوا ساکن بود و وزش باد وجود نداشت، می‌توان فاصله 10 ± 1.6 متر را به عنوان فاصله اجتماعی ایمن برای جلوگیری از انتقال مستقیم ویروس بین افرادی که در حالت ایستاده در حال گفتگو و تعامل هستند، در نظر گرفت. در حالتی که یک فرد به‌صورت ایستاده و یک فرد به‌صورت نشسته در حال گفت و گو و تعامل باشند این فاصله به بیش از دو متر ($2/10$) افزایش یافت. تغییرات دما با ثابت ماندن سایر پارامترها، تأثیر معنی‌داری در مسافت طی شده توسط قطرات نداشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این پارامتر تغییری در فاصله اجتماعی ایمن برای جلوگیری از انتقال مستقیم ویروس ایجاد نکرد. تغییرات رطوبت نیز با ثابت ماندن سایر پارامترها، تغییری در فاصله اجتماعی ایمن برای جلوگیری از انتقال مستقیم ویروس ایجاد نکرد. اثر باد بر انتقال قطرات پیچیده بود.

هنگامی که دمنده در مقابل جهت پاشش قطرات قرار گرفت، بیشتر قطرات مسافتی کمتر از یک متر را طی کردند و هنگامی که دمنده در پشت نازل قرار گرفت، بیشتر قطرات، مسافتی بیش از دو متر را طی کردند و فاصله اجتماعی ایمن برای افراد در حالت ایستاده به بیش از دو متر افزایش یافت. پژوهش حاضر تأثیر دما، رطوبت محیط و وزش باد بر انتقال مستقیم قطرات حامل ویروس در دوران پاندمی‌ها مخصوصاً همه‌گیری کرونا و تأثیر این عوامل در تعیین فاصله اجتماعی ایمن را مورد بررسی قرار داد. دما و رطوبت محیط تأثیری در فاصله اجتماعی ایمن ایجاد نکرد؛ اما فاصله اجتماعی ایمن به‌شدت تحت تأثیر وزش باد قرار گرفت؛ بنابراین در طراحی آینده فضاهای باز شهری و فضاهای بسته دارای تهویه، می‌توان این فاصله اجتماعی ایمن را در نظر گرفته و با خنثی کردن تأثیر باد بر انتقال ویروس‌ها، فضاهایی ایمن را طراحی نمود.

از این‌رو باتوجه به پیچیدگی رفتار باد بر روی قطرات و انتقال ویروس، مطالعات آینده می‌تواند بر روی بادشکن‌ها و موانع برای کنترل سرعت

به عنوان مثال Yu و همکاران با استفاده از یک مدل دینامیک ذرات سیال محاسباتی (CFPD) بررسی کردند فاصله اجتماعی ایمن $1/83$ متری اعلام شده توسط WHO در محیط‌های بدون وزش باد می‌تواند به عنوان فاصله اجتماعی ایمن در نظر گرفته شود؛ اما هنگام وزش باد این فاصله افزایش می‌یابد و فاصله $1/83$ برای افرادی که با یکدیگر در تعامل هستند، فاصله ایمنی نیست [۵۳]. در پژوهش حاضر نیز همان طور که اشاره شد فاصله اجتماعی ایمن برای افرادی که در حالت ایستاده با یکدیگر در حال تعامل و گفتگو هستند $1/63$ متر در نظر گرفته شد و فاصله اجتماعی $1/83$ متری اعلام شده توسط WHO را قابل قبول می‌داند؛ اما در شرایط وزش باد این فاصله تغییر کرده و نمی‌توان از آن به‌عنوان فاصله اجتماعی ایمن استناد کرد. درحالی‌که برخی مطالعات هیچ ارتباط معنی‌داری بین دما، رطوبت و تغییر در تعداد موارد ابتلا به Covid-19 پیدا نکردند [۶۰]؛ برخی دیگر اظهار داشتند، انتقال ویروس Covid-19 با پارامترهای هواشناسی، به‌ویژه دما و رطوبت و آلاینده‌های ذره‌ای هوا بر دهمبستگی دارد [۶۸-۶۱] با استناد به شبیه‌سازی رفتار سرفه، دما و رطوبت محیط بر انتقال قطرات تأثیر معنی‌داری نداشت و اختلاف دما و رطوبت محیط تغییر معنی‌داری در مسافت طی شده توسط قطرات ایجاد نکرد [۶۹-۷۱].

به نظر می‌رسد دما و رطوبت محیط بیشتر بر زمان بقای ویروس‌های کرونا بر روی سطوح و آئروسل‌ها ارتباط دارد تا انتقال مستقیم قطراتی که توسط بزاق دهان هنگام سرفه خارج می‌شوند [۷۶-۷۲]. از سوی دیگر سرعت باد به طور قابل توجهی با موارد ابتلا به Covid-19 مرتبط است [۷۷، ۷۸] و اثر باد بر انتقال قطرات پیچیده است [۵۳]. همان طور که نشان داده شد، سرعت و جهت وزش باد تأثیر قابل توجهی بر رفتار قطرات و مسافتی که طی می‌کنند تا به زمین برسند، داشت. این پیچیدگی تأثیر وزش باد بر رفتار قطرات، دستورالعمل‌های ایمنی در مورد فاصله اجتماعی در محیط بیرون را با چالش روبرو می‌کند و نقش طراحان و برنامه‌ریزان شهری را در چیدمان پلان مناسب فضاهای شهری برجسته می‌کند.

با اینکه عوامل مختلفی مانند تابش نور خورشید، بارش باران، باد، دما، رطوبت نسبی و ... بر انتقال ویروس تأثیرگذار هستند، در مطالعه پیش‌رو تأثیر دما، رطوبت محیط و سرعت وزش باد بر مسافتی که قطرات در هنگام سرفه طی می‌کنند، مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش به علت نبود برخی امکانات مانند امکان کاهش دما، تولید سرعت باد بالاتر از $4/6$ متر بر ثانیه دامنه محدودی از تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش‌های بیشتر را می‌توان در دماهای منفی و سرعت و جهت‌های مختلف وزش باد توسعه داد و تأثیر عوامل بیشتری مانند تأثیر تابش نور خورشید، بارش باران و غیره را بر مسافت طی شده توسط قطرات بررسی کرد. اگرچه نمونه کوچکی از پارامترها مورد استفاده قرار گرفت؛ اما این یافته‌ها می‌تواند گام مهمی در جهت توسعه دستورالعمل‌های مربوط به

سازمان‌هایی که در انجام پژوهش همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند.

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافی ندارند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه برگرفته از رساله دکتری رشته معماری با کد رساله ۱۹۳۳۳۶۶ می‌باشد. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری تمام افراد و

References

- 1-Li X, Song J, Lin T, Dixon J, Zhang G, Ye H. Urbanization and health in China, thinking at the national, local and individual levels. *Environmental Health* 2016; 15(32). Doi: 10.1186/s12940-016-0104-5.
- 2-Vitousek P, Mooney H, Lubchenco H, Melillo J. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 1997; 494-99. Doi: 10.1126/science.277.5325.494.
- 3-Yu D, Li X, Yu J, Shi X, Liu P, Tian P. Whether Urbanization has intensified the spread of infectious diseases-renewed question by the COVID-19 pandemic. *Front Public Health* 2021; 9(699710). Doi:10. 3389/fpubh.2021.699710.
- 4-Parto S, Izadi MS, Karimimoshaver M, Zaboli R. Urban open spaces supporting physical activity and promoting citizen's health: A Systematic review. *Iranian Journal of Health Education and Health Promotion* 2019; 7(2) :126-42 (In Persian).
- 5-Safaie Ghamsary E, Karimimoshaver M, Akhavan A, Afzali Goruh Z, Aram F, Mosavi A. Locating pocket parks: Assessing the effects of land use and accessibility on the public presence. *Environmental and Sustainability Indicators* 2023; 18(100253). Doi: 10. 1016/ j. indic. 2023.100253.
- 6-Karimimoshaver M, Parsamanesh M, Aram F, Mosavi A. The impact of the city skyline on pleasantness; state of the art and a case study. *Heliyon* 2021; 7(5). Doi: 10. 1016/j. heliyon.2021.e07009.
- 7-Karimimoshaver M, Sadathosseini M, Aram F, Ahmadi J, Mosavi A. The effect of geometry and location of balconies on single-sided natural ventilation in high-rise buildings. *Energy Reports* 2023; 10:2174-193. Doi: 10.1016/j.egy.2023.09.030.
- 8-Sahafizadeh A. Protection against severe infectious disease in the past. *Pathog Glob Health* 2021; 115(3):151-67. Doi: 10.1080/20477724.2021.1878443.
- 9-Neiderud CJ. How urbanization affects the epidemiology of emerging infectious diseases. *Infection Ecology & Epidemiology* 2015; 5:27060. Doi: 10. 3402/ iee.v5.27060.
- 10-Gupta P, Goyal K, Kanta P, Ghosh A, Singh MP. Novel 2019-coronavirus on new year's Eve. *Indian Journal of Medical Microbiology* 2019; 37(4):459-77. Doi: 10.4103/ijmm.IJMM_20_54.
- 11-Kumar P, Morawska L. Could fighting airborne transmission be the next line of defence against COVID-19 spread?. *City and Environment Interactions* 2019; 4:100033. Doi: 10.1016/j.cacint.2020.100033.
- 12-Codina M, Corcoy R, Goya MM. Update of the hyperglycemia gestational diagnosis during the COVID-19 pandemic. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición* 2020; 67(8):545-52. Doi: 10.1016/j.endinu.2020.05.002
- 13-Jamieson DJ, Rasmussen SA. An update on COVID-19 and pregnancy. *American Journal of Obstetrics & Gynecology* 2022; 226(2):177-86.
- 14-Kwon S, Joshi AD, Lo CH, Drew DA, Nguyen LH, Guo CG, et al. Association of social distancing and face mask use with risk of COVID-19. *Nature Communications* 2021; 12(1):3737.
- 15-Zhang J, Litvinova M, Wang W, Wang Y, Deng X, Chen X, et al. Evolving epidemiology and transmission dynamics of coronavirus disease 2019 outside Hubei province, China: A descriptive and modelling study. *The Lancet Infectious Disease* 2020; 20(7):793-802. Doi: 10. 1016/ S1473-3099(20)30230-9.
- 16-Jia Zh, Lu Z. Modelling COVID-19 transmission: from data to intervention. *The Lancet Infectious Disease* 2020; 20(7):757-58. Doi: 10. 1016/ S1473-3099(20)30258-9.
- 17-Wei Y, Dong Z, Fan W, Xu K, Tang S, Wang Y, et al. A narrative review on the role of temperature and humidity in COVID-19: Transmission, persistence, and epidemiological evidence. *Eco-Environment & Health* 2022; 1(2):73-85. Doi:10.1016/j.eehl.2022.04.006.
- 18-WHO. Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?. Available from: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>. Accessed Dec 23, 2021.
- 19-Xie X, Li Y, Chwang AT, Ho PL, Seto WH. How far droplets can move in indoor environments--revisiting the wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 2007; 17(3):211-25. Doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x.
- 20-Xie X, Li Y, Sun H, Liu L. Exhaled droplets due to talking and coughing. *Royal Society Interface* 2009; 6(6):703-14. Doi: 10.1098/rsif.2009.0388.focus.
- 21-Božič A, Kanduč M. Relative humidity in droplet and airborne transmission of disease. *Biological Physics* 2021; 47(1):1-29. Doi: 10.1007/s10867-020-09562-5.
- 22-Chen LD. Effects of ambient temperature and humidity on droplet lifetime- A perspective of exhalation sneeze droplets with COVID-19 virus transmission. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2020; 229:113568. doi: 10. 1016/ j.ijheh. 2020. 113568.
- 23-Ji Y, Qian H, Ye J, Zheng X. The impact of ambient humidity on the evaporation and dispersion of exhaled

- breathing droplets: A numerical investigation. *Journal of Aerosol Science* 2017; 115: 164-72. Doi: 10. 1016/ j. jaerosci.2017.10.009.
- 24-Liu F, Qian H, Zheng X, Song J, Cao G, Liu Zh. Evaporation and dispersion of exhaled droplets in stratified environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019; 609(4). Doi: 10. 1088/ 1757- 899X/609/4/042059.
- 25-Parienta D, Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, et al. Theoretical analysis of the motion and evaporation of exhaled respiratory droplets of mixed composition. *Journal of Aerosol Science* 2011; 42(1): 1-10. Doi: 10. 1016/ j. jaerosci. 2010.10.005
- 26-Mao N, An CK, Guo LY, Wang M, Guo L, Guo SR, et al. Transmission risk of infectious droplets in physical spreading process at different times: A review. *Building and Environment* 2020; 185:107307. Doi: 10. 1016/ j. buildenv.2020.107307.
- 27-Zhu S, Kato S, Yang JH. Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment. *Building and Environment* 2006; 41(12):1691-1702. Doi: 10. 1016/ j. buildenv. 2005.06.024.
- 28-Papineni RS, Rosenthal FS. The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *Journal of Aerosol Medicine* 1997; 10(2):105-16. Doi: 10.1089/jam.1997.10.105.
- 29-Johnson TF, Hordley LA, Greenwell MP, Evans LC. Associations between COVID-19 transmission rates, park use, and landscape structure. *Science Total Environment* 2021; 789:148123. Doi: 10. 1016/ j. scitotenv.2021.148123.
- 30-Li J, Zhuang C, Zou WA tale of lockdown policies on the transmission of COVID-19 within and between Chinese cities: A study based on heterogeneous treatment effect. *Economics & Human Biology* 2024; 53:101365. Doi: 10.1016/j.ehb.2024.101365.
- 31-Polwiang S. The lockdown and vaccination distribution in Thailand's COVID-19 epidemic: A model study. *Infectious Disease Modelling* 2023; 8(2):551-61. Doi: 10.1016/j.idm.2023.05.002.
- 32-Allam Z, Jones DS. Pandemic stricken cities on lockdown. Where are our planning and design professionals [now, then and into the future]?. *Land Use Policy* 2020; 97:104805. Doi: 10. 1016 /j. landusepol. 2020.104805.
- 33-Dzhambov AM, Lercher P, Browning M, Stoyanov D, Petrova N, Novakov S, et al. Does greenery experienced indoors and outdoors provide an escape and support mental health during the COVID-19 quarantine?. *Environmental Research* 2021; 196:110420. Doi: 10. 1016/j.envres.2020.110420
- 34-Gillard S, Dare C, Hardy J, Nyikavaranda P, Rowan Olive, R Shah P, et al. Experiences of living with mental health problems during the COVID-19 pandemic in the UK: A coproduced, participatory qualitative interview study. *Social Psychiatry Psychiatr Epidemiol* 2021; 56(8):1447-57. Doi: 10.1007/s00127-021-02051-7.
- 35-Herman K, Drozda Ł. Green Infrastructure in the time of social distancing: Urban Policy and the tactical Pandemic urbanism. *Sustainability* 2021; 13(4):1632. Doi:10.3390/su13041632.
- 36-Jackson SB, Stevenson KT, Larson LR, Peterson MN, Seekamp E. Outdoor Activity participation Improves adolescents' mental health and well-being during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021; 18(5):2506. Doi: 10.3390/ijerph18052506.
- 37-Labib SM, Browning MHEM, Rigolon A, Helbich M, James P. Nature's contributions in coping with a pandemic in the 21st century: A narrative review of evidence during COVID-19. *Science Total Environment* 2022; 10(833):155095. Doi: 10. 1016/ j. scitotenv. 2022. 155095.
- 38-Zhang L, Zhao J, Liu J, Chen K. Community Disaster resilience in the COVID-19 outbreak: Insights from Shanghai's experience in China. *risk Manag Healthc Policy* 2020; 13:3259-70. Doi: 10. 2147/ RMHP. S283447.
- 39-Lak A, Shakouri AS, Maher A. Resilient urban form to pandemics: Lessons from COVID-19. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran* 2020; 34:71. Doi: 10.34171/mjiri.34.71.
- 40-Liu C, Liu Z, Guan C. The impacts of the built environment on the incidence rate of COVID-19: A case study of King County, Washington. *Sustainable cities Society* 2021; 74:103144. Doi: 10. 1016/ j. scs. 2021.103144.
- 41-López-Gay A, Spijker J, Cole HVS, Marques AG, Triguero-Mas M, Anguelovski I, et al. Sociodemographic determinants of intraurban variations in COVID-19 incidence: the case of Barcelona. *Epidemiol Community Health* 2022; 76(1):1-7. Doi: 10. 1136/jech-2020-216325.
- 42-Romer D, Jamieson KH. Patterns of Media use, Strength of belief in COVID-19 Conspiracy theories, and the Prevention of COVID-19 from March to July 2020 in the United States: Survey study. *Medical Internet Research* 2021; 23(4):e25215. Doi: 10.2196/25215.
- 43- Rosario DKA, Mutz YS, Bernardes PC, Conte-Junior CA. Relationship between COVID-19 and weather: Case study in a tropical country. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2020; 229:113587. Doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113587.
- 44-Xie J, Zhu Y. Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science Total Environment* 2020; 724:138201. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138201.
- 45- Wu Y, Jing W, Liu J, Ma Q, Yuan J, Wang Y, et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries. *Science Total Environment* 2020; 729:139051. Doi: 10. 1016/ j.scitotenv.2020.139051.

- 46-He Z, Chin Y, Yu S, Huang J, Zhang CJP, Zhu K, et al. The Influence of average temperature and relative humidity on new cases of COVID-19: Time-series analysis. *JMIR Public Health Surveill* 2021; 7(1):20495. Doi: 10.2196/20495.
- 47-Diao Y, Koderia S, Anzai D, Gomez-Tames J, Rashed EA, Hirata A, et al. Influence of population density, temperature, and absolute humidity on spread and decay durations of COVID-19: A comparative study of scenarios in China, England, Germany, and Japan. *One Health* 2021; 12:100203. Doi: 10. 1016 /j. onehlt. 2020. 100203.
- 48-Flaxman S, Mishra S, Gandy A, Unwin HJT, Mellan TA, Coupland H, et al. Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature* 2020; 584(7820):257-61. Doi: 10.1038/s41586-020-2405-7.
- 49-Srivastava A. COVID-19 and air pollution and meteorology-an intricate relationship: A review. *Chemosphere* 2021;263:128297. Doi: 10. 1016/ j. chemosphere.2020.128297.
- 50-Srivastava N. Review of the Role of aerosols in the spread of COVID-19. *Researchgate* 2024:177-88. Doi: 10.1007/978-3-031-55836-8_10.
- 51-Jing Y, Leslie KN, Zhi-Fu Zh, Bin C, Wei-Tao W. Investigation on the evaporation and dispersion of human respiratory droplets. *International Journal of Multiphase Flow* 2022; 147. Doi: 10. 1016/ j. ijmultiphaseflow.2021.103904.
- 52-Parvaz N, Amin F, Nadimi AE, Eslami H. Correlation between weather conditions and COVID-19 pandemic in the southeast area of Iran. *Spatial Information Research* 2023; 31:685–93. Doi: 10.1007/s41324-023-00536-y.
- 53-Feng Y, Marchal T, Sperry T, Yi H. Influence of wind and relative humidity on the social distancing effectiveness to prevent COVID-19 airborne transmission: A numerical study. *Journal of Aerosol Science* 2020; 147:105585. Doi: 10. 1016/ j. jaerosci. 2020.105585.
- 54-Heckert M, Bristowe A. Parks and the pandemic: A scoping review of research on green infrastructure use and health outcomes during COVID-19. *Environmental Research Public Health* 2021; 18(24):13096. Doi: 10. 3390/ijerph182413096.
- 55-Xie J, Luo S, Furuya K, Sun D. Urban Parks as green buffers during the COVID-19 pandemic. *Sustainability* 2020; 12(17):6751. Doi: 10.3390/su12176751.
- 56- Choo M, Yoon H, Yoon DK. Investigating consistent effects of the urban built environment and human mobility on COVID 19 outbreaks: A comprehensive meta-analysis. *Sustainable Cities and Society* 2024; 102:105226. Doi:10.1016/j.scs.2024.105226.
- 57-Zhao M, Zhou C, Chan T, Tu C, Liu Y, Yu M. Assessment of COVID-19 aerosol transmission in a university campus food environment using a numerical method. *Geoscience Frontiers* 2022; 6 (13). Doi: 10. 1016/j.gsf.2022.101353.
- 58-Rodriguez MA, Zhou B, Sophiea MK, James B, Christopher J P, Maria LC, et al. Height and body-mass index trajectories of school-aged children and adolescents from 1985 to 2019 in 200 countries and territories: A pooled analysis of 2181 population-based studies with 65 million participants. *Lancet* 2020; 7; 396(10261):1511-24.
- 59-Goniewicz K, Khorram-Manesh A, Hertelendy AJ, Goniewicz M, Naylor K, Burkle FM Jr. Current Response and management decisions of the European Union to the COVID-19 outbreak: A review. *Sustainability* 2020; 12(9), 3838. Doi: 10. 3390/ su12093838.
- 60-Mozumder MSI, Amin MSA, Uddin MR, Talukder MJ. Coronavirus COVID-19 outbreak and control: effect of temperature, relative humidity, and lockdown implementation. *Arch Pediatr* 2021; 28(2):111-16. Doi: 10.1016/j.arcped.2020.12.006.
- 61-Ahmed AT, Ghanem AS. A statistical study for impacts of environmental conditions on the rapid spread of new corona virus. *International Journal of Environmental Science and Technology (Tehran)* 2020; 17(10):4343-52. Doi: 10.1007/s13762-020-02858-y.
- 62- Akbar F, Suleman M, Israr M, Ali S SH, Zaman N, Khan O, et al, Effect of temperature and humidity on coronavirus infection in Pakistan. *Gene Reports* 2022; 26:101441. doi: 10.1016/j.genrep.2021.101441.
- 63-Alvarez-Ramirez J, M Meraz. Role of meteorological temperature and relative humidity in the January-February 2020 propagation of 2019-nCoV in Wuhan, China. *Med Rxiv* 2020. Doi: 10. 1101/ 2020. 03. 19. 20039164.
- 64-Guo L, Yang Z, Zhang L, Wang S, Bai T, Xiang Y, et al. Systematic review of the effects of environmental factors on virus inactivation: implications for Coronavirus disease 2019. *International Journal of Environmental Science and Technology (Tehran)* 2021; 18(9):2865-78. Doi: 10.1007/s13762-021-03495-9.
- 65-Mecenas P, Bastos RTDRM, Vallinoto ACR, Normando D. Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: A systematic review. *PLoS One* 2020; 15(9):0238339. Doi: 10. 1371/ journal. pone. 0238339.
- 66-Noti JD, Blachere FM, McMillen CM, Lindsley WG, Kashon ML, Slaughter DR, et al. High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. *PLoS One* 2013; 8(2). Doi: 10. 1371/ journal. pone. 0057485.
- 67-Rafieepour A, Masoumi GR, Rezazadeh Azari M, Dehghani A. Airborne particulate matter and increased risk of COVID-19 infection. *Journal of Health in the Field* 2020; 8(3):1-7 (In Persian).
- 68-Goudarzi Gh, Neisi N,Tahmasebi Birgani Y,Babaei AK, Ahmadi M, et al.The role of environmental factors in transmission of SARS-CoV-2 and its reduction strategies. *Journal of Health in the Field* 2022; 9(4):1-9 (In Persian).

- 69-Robey AJ, Fierce L. Sensitivity of airborne transmission of enveloped viruses to seasonal variation in indoor relative humidity. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2022; 130. Doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105747.
- 70-Jamil T, Alam I, Gojobori T, Duarte CM. No Evidence for temperature-dependence of the COVID-19 epidemic. *Front Public Health* 2020; 8:436 . Doi: 10.3389/fpubh.2020.00436.
- 71-Sahafizadeh E, Sartoli S. Rising summer temperatures do not reduce the reproduction number of COVID-19. *Journal Travel Medicine* 2021; 28(2):189. Doi: 10.1093/jtm/taaa189.
- 72-Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, et al. Increasing Temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *Msphere* 2020; 5(4). Doi: 10.1128/mSphere.00441-20.
- 73-Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Effects of air temperature and relative humidity on Coronavirus survival on surfaces. *Applied Environmental Microbiology* 2010; 76(9). Doi: 10.1128/AEM.02291-09.
- 74-Chan KH, Peiris JS, Lam SY, Poon LL, Yuen KY, Seto WH. The Effects of temperature and relative Humidity on the viability of the SARS Coronavirus. *Advances Virology* 2011; 734690. Doi: 10.1155/2011/734690.
- 75-Harmooshi NN, Shirbandi K, Rahim F. Environmental concern regarding the effect of humidity and temperature on 2019-nCoV survival: fact or fiction. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27(29):36027-036. Doi: 10.1007/s11356-020-09733-w.
- 76-Marzoli F, Bortolami A, Pezzuto A, Mazzetto E, Piro R, Terregino C. A systematic review of human coronaviruses survival on environmental surfaces. *Science of the Total Environment* 2021; 778:146191. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146191.
- 77-Altamimi A, Ahmed AE. Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Journal of Infection and Public Health* 2020; 13(5):704-08. Doi: 10.1016/j.jiph.2019.11.011.
- 78-Rendana M. Impact of the wind conditions on COVID-19 pandemic: A new insight for direction of the spread of the virus. *Urban Climate* 2020; 34:100680. Doi: 10.1016/j.uclim.2020.100680.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>

**Journal of
Behdasht dar Arseh
(i.e., Health in the Field)**



Shahid Beheshti University of Medical Sciences
School of Public Health and Safety

Vol.12, No.3, Autumn 2024

Effect of temperature, humidity, and wind on safe social distance during pandemics (A case study of Coronavirus)

Aref Nouri ¹ , Mehrdad Karimi Moshaver ^{1*} 

¹Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract

Background and Aims: This study examines the effects of temperature, ambient humidity, and wind on the transmission and spread of viruses from coughs, aiming to determine safe social distancing measures to prevent pandemic spread.

Materials and Methods: To simulate the transmission and dispersion of cough droplets, a laboratory setup was designed. The setup included a hydraulic circuit, a blower system, a temperature control system, and a humidity generator to simulate cough droplet dispersion, wind, ambient temperature, and humidity, respectively. In this study, image processing was used to assess droplet transmission and dispersion. Ethical considerations were observed throughout the study.

Results: Image processing indicated that, while keeping humidity constant and varying temperature between 17.1°C and 46.7°C, temperature changes did not significantly affect droplet dispersion. Similarly, maintaining a constant ambient temperature while varying humidity between 10% and 80% showed no significant impact on droplet dispersion. Under these conditions, droplets reached heights of 1.55 meters and 1.05 meters after traveling distances of 1.6 ± 0.10 meters and 1.2 ± 0.10 meters, respectively. Wind speed and direction significantly influenced droplet transport and dispersion.

Conclusion: Wind speed and direction are the key parameters influencing the transmission and dispersion of cough-generated viruses, and the safe social distance is determined based on these factors. Generally, in a wind-free environment, a safe social distance of 1.63 ± 0.10 meters is recommended.

Keywords: COVID-19, Temperature, Humidity, Wind, Safe social distance

Please cite this article as: Nouri A, Karimi Moshaver M. Effect of temperature, humidity, and wind on safe social distance during pandemics (A case study of Coronavirus). Journal of Health in the Field 2024; 12(3):53-64. Doi: <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i3.46294>.

Corresponding Author: Department of architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Corresponding Author: Department of architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Email: mkmoshaver@basu.ac.ir

Received: 24 September 2024

Accepted: 12 January 2025