مجله کنترل- ویژه‌نامه کووید-۱۹
ISSN (print) 2008-8345
ISSN (online) 2538-3752
جلد ۱۴، شماره ۵، ویژه‌نامه کووید-۱۹، صفحه ۲۲-۱۵

پیش‌بینی انتشار قطرات حامل ویروس کرونا ناشی از عطسه در یک واگن مترو با استفاده از روش ترکیبی دینامیک سیالات محاسباتی - هوش مصنوعی

جواد محبی نجم‌آباد [۱،*]، رسول علیزاده [۲]، مهرداد مسگرپور [۳]

[۱] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران، javad.mohebi@gmail.com

[۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران، rasoolalizadeh86@gmail.com

[۳] مرکز تحقیقات جریان دوفازی، دپارتمان مهندسی مکانیک،، دانشگاه تنبوری، بانکوک تایلند، mesgarpour-mehrdad@hotmail.com

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۱۰/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده: انتشار کووید-۱۹ به‌عنوان یک ویروس با همه‌گیری بالا و مرگبار اثر بسیار عمیقی بر جوامع انسانی داشته است. عطسه فرد آلوده یکی از مهم‌ترین منابع انتشار و پراکندگی ویروس است. در این تحقیق با ترکیب روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی و روش هوش مصنوعی سعی در پیش‌بینی الگو و تخمین مدل انتشار ویروس کووید-۱۹ موجود در ذرات عطسه در محیط داخلی واگن مترو شده است. در تحلیل این مسئله با ارائه راه‌حل ترکیبی دینامیک سیالات محاسباتی و هوش مصنوعی، سعی بر مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوی انتشار ویروس موجود در ذرات قطره شده است. نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که انتشار قطرات عطسه در واگن مترو به دلیل وجود ذرات ۱ تا ۲۵۰ میکرون میتواند تمام محیط را الوده کند. همچنین مشخص شد سرعت انتشار ویروس تابعی از سرعت هوای موجود در مترو است. نتایج نشان داد که ذرات معلق بین ۱ تا ۴۰۰ میکرون در طول واگن پخش می‌شود و احتمال سرایت بیماری را به شدت افزایش می‌دهند. ذرات سنگین با ته‌نشین شدن در نواحی نزدیک فرد آلوده منجر به الودگی سطوح در این نواحی میشود.

کلمات کلیدی: کووید-۱۹، قطره، دینامیک سیالات محاسباتی، شبکه تطبیق‌پذیر، عطسه

Prediction of the spread of Corona-virus carrying droplets in a metro wagon - A computational based artificial intelligence approach

Javad mohebbi Najm Abad, Rasool Alizadeh, Mehrdad Mesgarpour

Abstract: Assessing the risk of transmitting the coronavirus is essential for protecting public health under the COVID-19 epidemic. Public transportation such as buses and metro wagon is the most important COVID-19 dispersion source. In the last decade, numerical simulation plays a vital role in predicting. In this case study, a combination of numerical simulation and artificial intelligence tries to predict the droplet of the sneezing process. As a case study, the Metro wagon was considered, and droplet dispersion along the bus was studied. The result indicated that the small diameter could easily transport along with the wagon. It also shows that the large area under affected by particle deposition. In this case study, a combination of numerical simulation and artificial intelligence has a great result.

Keywords: COVID-19, Droplet distribution, CFD, Artificial intelligent

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

۱- مقدمه

شیوع ویروس کرونا از طریق قطرات تولیدشده در اثر عطسه و سرفه در ماه‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. نتایج نشان داده است که این فرایند می‌تواند انتقال ویروس را ۱۸ برابر افزایش دهد [۱-۸]. پراکندگی قطرات حاصل از عطسه انسان فرایند بسیار پیچیده ای است. با خروج از دهان، قطره بزاق به قطرات کوچک‌تر تقسیم می‌شود. تبخیر و کاهش قطر قطرات باعث تغییرات در زمان معلق شدن قطرات در هوا می‌شود. این امر باعث میگردد که ایجاد مدل های پیش‌بینی کننده برای انتشار چنین قطراتی و انتقال ویروس را پیچیده شود.

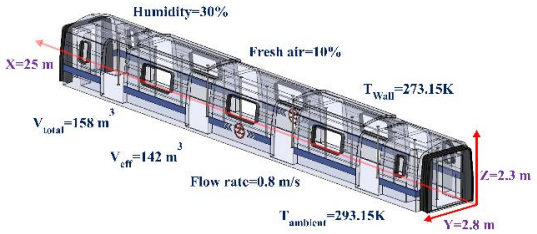
در حال حاضر مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی عطسه انجام شده است. در سال ۲۰۱۹ ، بنی و همکاران [۹] فرایند انتقال قطرات تولید شده توسط عطسه در مجاری تنفسی انسان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که اگر سرعت متوسط جریان ۴/۷۹ لیتر در ثانیه باشد سرعت جریان هوای خروجی از دهان و بینی به ترتیب به ۵/۵ و ۴/۸ متر در ثانیه می‌رسد. در سال ۲۰۲۰ سینگ و تریپاتی [۱۰] انتشار ذرات عطسه را در یک اتاق به‌صورت عددی شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق مدلی برای اندازه‌گیری انتقال ذرات در هوای اطراف اتاق ارائه شد. تحقیقات توسط کاتب و خلیل [۱۱] با مطالعه عددی انتشار ذرات حاوی ویروس کووید-۱۹ به داخل هواپیمای مسافرتی ادامه پیدا کرد. آنها نشان دادند که جریان قطرات ناشی از سرفه و عطسه از مسافران در حال حرکت می‌تواند به مسافران نشسته برسد. بااین‌حال، قطرات عطسه تأثیرات مضر بیشتری نسبت به قطرات سرفه داشتند، همچنین مقایسه بین دامنه پخش قطرات حاصل از مسافر در حال حرکت و ایستاده نشان داد که مسافر هرچه سریع‌تر حرکت کند، قطرات بیشتر گسترش می‌یابد. علی حسن [۱۲] اثرات تهویه بر انتشار ویروس در یک اتاق را موردمطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شدت و جهت جریان هوا در داخل اتاق تأثیر قابل‌توجه ای بر مدل انتشار ویروس دارد. بوسکو و همکاران [۱۳] مطالعه جامع ای از گسترش ویروس در محیط انجام دادند و نتایج آنها مشخص کرد که رسوب ذرات تابعی از قطر متوسط آنها است. آنها همچنین نشان دادند که اثرات زیست‌محیطی نقش عمده‌ای در انتشار ذرات دارد. چادری و همکاران [۷] مدل توزیع و آلودگی قطرات را بر اساس واکنش قطرات به دست آوردند. مدل تجربی به‌دست‌آمده از قطرات توسط آنها نشان داد که زمان تبخیر و خشک شدن قطرات به دمای محیط وابسته است. ورما و همکاران [۱۴] نشان داد که استفاده از سپرهای محافظ می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در الگوی انتشار و همچنین گسترش آلودگی در فرایند عطسه داشته باشد. در مطالعه دیگری، لی و همکاران [۱۵] مدل انتشار قطرات ناشی از عطسه و غلظت ذرات آلوده در محیط را بررسی کردند. ابوگازی و همکاران [۸] با بررسی مدل انتشار ذرات معلق در هوا، دریافت که این ذرات به‌راحتی توسط جریان محیط، در محیط منتقل می‌شوند. به‌طورکلی، روش‌های عددی یک چارچوب مناسب برای مطالعه انتشار ویروس فراهم می‌کنند. ازاین‌رو، تعدادی از محققان سعی کردند با شبیه‌سازی‌های عددی، منطقه آلوده را تشخیص دهند. سیستم حمل‌ونقل عمومی سهم قابل‌توجه ای در انتقال کووید-۱۹ دارد [۸]. در نتیجه، تأکید زیادی بر کاهش خطر انتقال این ویروس در حمل‌ونقل عمومی از جمله اتوبوس‌ها و واگن‌های مترو وجود دارد. این به نوبه خود نیاز به‌پیش‌بینی انتشار ویروس در محیط داخلی دارد. اگرچه با انجام تجزیه‌وتحلیل عددی می‌توان چنین پیش‌بینی هایی را انجام داد، اما بار محاسباتی زیاد آن، تقریباً استفاده از این مدل حل را غیر ممکن می‌سازد. به‌عنوان یک راه‌حل، می‌توان از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای کاهش بار تجزیه‌وتحلیل عددی استفاده کرد. این امر باعث توسعه یک مدل داده‌محور می‌شود که از داده‌های به‌دست‌آمده در محاسبات عددی در بخش کوچکی از دامنه استفاده می‌شود و بقیه نتایج را برون‌یابی می‌کند. این روش قبلاً توسط مراجع [۱۸-۱۶] مورداستفاده قرار گرفته است. ازاین‌رو، مطالعه حاضر شامل یک قسمت محاسباتی است که در مطالعه عددی، از دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل‌سازی جریان هوای سه‌فاز قطرات مایع و بخار آب در طی فرایند انتشار قطرات استفاده شده است. مدل جریان سه‌فاز بر اساس تغییرات قطر ذرات است که در فرایند عطسه و انتقال آنها توسط جریان هوا مشاهده می‌شود. نتایج عددی به هوش مصنوعی منتقل می‌شود که توزیع قطره درون یک واگن مترو را پیش‌بینی کند.

۲-بیان مسئله

برای درک چگونگی توزیع ذرات عطسه در واگن مترو هنگام عطسه فرد، مطالعه عددی و شبیه‌سازی بهترین راه درک است. برای دستیابی به این هدف در این بخش، با معرفی مسئله و شرایط مرزی در حوزه شبیه‌سازی، ساختار مدل انتشار ویروس کووید-۱۹ موجود در قطرات بزاق را بررسی خواهیم کرد.

۲-۱-هندسه مسئله

بر اساس این تحقیق، حمل‌ونقل عمومی یکی از مهم‌ترین منابع انتقال بیماری است. باتوجه‌به مسئولیت اجتماعی نویسندگان این تحقیق تصمیم به مدل‌سازی یکی از مهم‌ترین وسایل حمل و عمومی می‌گیرند. مطالعه آلودگی کووید-۱۹ منتشر شده به‌وسیله عطسه در واگن مترو به‌صورت ویژه در این تحقیق بررسی شده است. واگن مترو به‌عنوان متداول‌ترین حمل‌ونقل عمومی دارای ویژگی خاصی است که آن را مهم می‌کند. در این مطالعه، یکی از انواع متداول قطار شهری مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطابق شکل ۱، تصویر گرافیکی واگن مترو شهری و طرح داخلی وجود دارد.



شکل ۱: نمایی از ابعاد هندسی مسئله و نیز سایر مشخصات مرزی

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

شکل ۱ نشان می‌دهد که واگن مترو شهری دارای ظرفیت خالص ۱۵۸ مترمکعب است. با درنظرگرفتن صندلی و جز دیگر، حجم خالص واگن مترو حدود ۱۴۲ مترمکعب خواهد بود. دیواره واگن مترو شرایط مرزی دمای ثابت در نظر گرفته شد. همچنین در هنگام شبیه‌سازی درب خروجی بسته شد. برای ساده‌سازی شبیه‌سازی، فقط یک نفر در انتهای واگن مترو در نظر گرفته شد. طبق شکل ۲ الف، مردی در انتهای واگن مترو ایستاده و عطسه می‌کند. او ۱.۸۰ متر قد دارد و دقیقاً در انتهای واگن مترو ایستاده است. تهویه در واگن مترو در مدرن شهری تجهیزات استاندارد است؛ بنابراین، در این مورد، مطالعه، تهویه در حالت پایدار فرض شد. جریان هوای پایدار ($V = 0.1m / s$) در طول واگن مترو تزریق می‌شود. این سیستم حلقه بسته بود و در دما و رطوبت ثابت می ماند. دمای محیط ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. تمام دیوار و درب واگن مترو دما ثابت است. همچنین جریان گرما از سقف وجود ندارد.

(الف)

(ب)

شکل ۲: نمایی از ابعاد هندسی مسئله و نیز سایر مشخصات مرزی الف) محل قرارگیری فرد از روبرو، ب) نمای جانبی محل قرار گیری عطسه کننده

۲-۲-معادلات حاکم:

معادلات حاکم پیوستگی، مومنتوم و انرژی برای جریان سیال چند فازی به‌صورت زیر است [۲۱-۱۹]:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}\right)}{\partial t}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}u^{m^*})}{\partial x}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}v^{m^*})}{\partial y}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}w^{m^*})}{\partial z}=S^{\text{int}}_{m^{m^*}} \quad (۱)$$

معادلات مومنتوم در جهات :x-y-z

$$\frac{\partial\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}u^{m^*}\right)}{\partial t}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}u^{m^*}u^{m^*})}{\partial x}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}v^{m^*}u^{m^*})}{\partial y}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}w^{m^*}u^{m^*})}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial u^{m^*}}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial u^{m^*}}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial u^{m^*}}{\partial z}\right]+S^{m^*}_{u^{m^*}} \quad (۲)$$

$$\frac{\partial\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}v^{m^*}\right)}{\partial t}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}u^{m^*}v^{m^*})}{\partial x}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}v^{m^*}v^{m^*})}{\partial y}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}w^{m^*}v^{m^*})}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial v^{m^*}}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial v^{m^*}}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial v^{m^*}}{\partial z}\right]+S^{m^*}_{v^{m^*}} \quad (۳)$$

$$\frac{\partial\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}w^{m^*}\right)}{\partial t}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}u^{m^*}w^{m^*})}{\partial x}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}v^{m^*}w^{m^*})}{\partial y}+\frac{\partial(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}w^{m^*}w^{m^*})}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial w^{m^*}}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial w^{m^*}}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\alpha^{m^*}(\mu^{m^*}+\mu_T^{m^*})\frac{\partial w^{m^*}}{\partial z}\right]+S^{m^*}_{w^{m^*}} \quad (۴)$$

معادله انرژی:

$$\frac{\partial(\rho^m H^m)}{\partial t}+\nabla.\left(\rho^m U^m w^m\right)=\nabla.\left(\lambda^m \Delta T^m\right)-\nabla.q_H^{m^*}+\zeta-\nabla.\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}U^{dr,m^*}H^{m^*}\right)\rho^m=\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}\right),\lambda^m=\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\lambda^{m^*}\right) \quad (۵)$$

که آنتالپی و سرعت از معادله زیر به دست می‌آید:

$$U^m=\frac{\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}U^{m^*}\right)}{\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}\right)},H^m=\frac{\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}H^{m^*}\right)}{\sum_{m^*=1}^{2}\left(\alpha^{m^*}\rho^{m^*}\right)} \quad (۶)$$

۳-۲-شبیه سازی مدل (LES)

در LES ، گردابهای بزرگ حاوی انرژی مستقیماً محاسبه می‌شوند. برای جریان چند فاز ی، فرمول‌بندی های ریاضی شامل یک فاز پیوسته و گسسته است. معادلات پیوستگی و مومنتوم به‌کاررفته در مدل LES به شرح زیر تعریف شده است [۲۲]:

$$\left(\frac{\partial\rho}{\partial t}\right)+\left(\frac{\partial\left(\overline{\rho u_i}\right)}{\partial x_j}\right)=0 \quad (۷)$$

$$\left(\frac{\partial\left(\overline{\rho u_j}\right)}{\partial t}\right)+\left(\frac{\partial\left(\overline{\rho u_i u_j}\right)}{\partial x_j}\right)=-\left(\frac{\partial p}{\partial x_i}\right)+\left(\frac{\partial\sigma_{ij}}{\partial x_j}\right)-\left(\frac{\partial\tau_{ij}}{\partial x_j}\right)+S \quad (۸)$$

در اینجا S نیروی گرانش و کشش سطحی می‌باشد τ_{ij} تانسور تنش است

$$\tau_{ij}\approx\rho\left(\overline{u_i u_j}-\overline{u_i}\,\overline{u_j}\right)$$
$$S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial\left(\overline{u_j}\right)}{\partial x_i}+\frac{\partial\left(\overline{u_i}\right)}{\partial x_j}\right) \quad (۹)$$

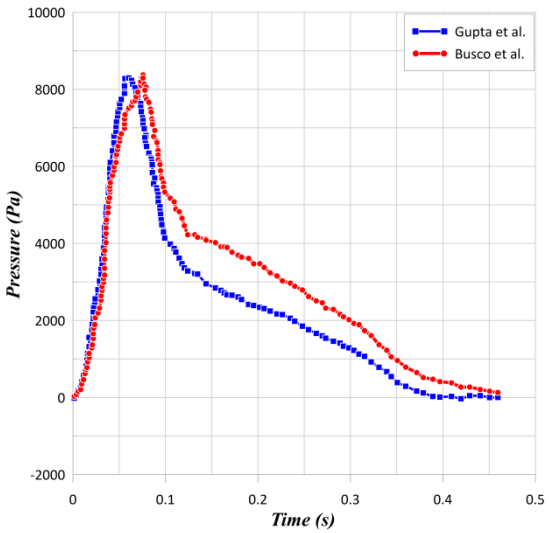
در فشار محیط، برخورد قطرات میتواند منجر به بهم‌پیوستگی جزئی می‌شود درحالی‌که در فشار بالاتر ممکن است جریان برگشتی ایجاد کند. فیلم هوای نازک جداکننده دو قطره میتواند منجر به شکست قطرات به سایز ریزتر بشود. به دلیل پیچیدگی فرایند عطسه، در اینجا، از یک حل‌کننده جریان چندلایه استفاده شد. دامنه به چهار قسمت تقسیم می‌شود. در قسمت اول، جریان هوای داخلی منتهی به دهان با استفاده از RANS تک‌فاز، مدل K-epsilon با درنظرگرفتن حرکت در محیط دهان مدل‌سازی شد.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

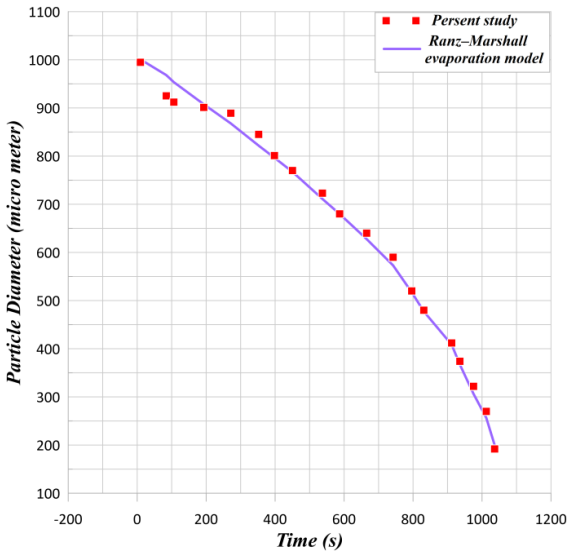
در این بخش، از یک ساختار مش چندوجهی و ارتباط ساده سرعت و فشار استفاده شد. ازآنجاکه پیکربندی شامل یک حالت تک‌فاز در ورودی همراه با بزاق در کل سطح داخلی دهان است، از یک حجم مایعات (VOF) برای مدل‌سازی جریان دو فاز در آن منطقه استفاده شد. این یک مدل ترکیبی را ارائه می‌دهد که به‌عنوان یک جریان تک‌فاز شروع می‌شود و به‌تدریج به یک جریان سه فاز تبدیل می‌شود.

۳-پروفیل عطسه

عطسه مکانیسمی است که بدن شما برای پاک‌سازی مجاری هوایی استفاده می‌کند. وقتی مواد خارجی مانند آلودگی، گرده، دود یا گردوغبار به سوراخ‌های بینی وارد شود، ممکن است بینی تحریک داده شود. وقتی این اتفاق می افتد، بدن شما آنچه را که باید برای پاکسازی بینی انجام دهد انجام می‌دهد - باعث عطسه می‌شود. عطسه یکی از اولین موارد دفاعی بدن در برابر باکتری های مهاجم و اشکالات است. همچنین این فرایند دارای مشخصات و فشار منحصر به فرد است. مطابق شکل ۳ گرادیان فشار در مدت زمان بسیار کمی اتفاق می افتد. در تحلیل این مسئله از میانگین مقادیر نمودار زیر به‌عنوان شرایط مرزی فشاری استفاده شده است. در فرایند عطسه جریان گازی از گلو شروع می‌شود و در این فاصله از فضای داخلی دهان عبور کرده و بزاق را حمل می‌کند. این روند در انسان اتفاق می افتد. مطابق این تنظیم، جریان مایع در پروفیل فشار از دهان خارج می‌شود. فضای داخلی دهان دیواره است و گلو وضعیت فشار ورودی فشار است. در لحظه اولیه، جریان سیال یک فاز با R.H = 75٪ است. دمای جریان ورودی حدود ۳۵ درجه است. جریان بزاق به جو خارج شد. باتوجه‌به هندسه دهان، این فشار باعث سرعت ۸۵ m/s در محل لب می‌شود. محل خروج دهان یک خروجی فشار و یک قطره همگن توزیع بزاق بود. دمای اولیه قطره ۳۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. در شکل چهار نتایج بررسی مدل پیش‌بینی سایز قطرات بر اساس مدل تبخیر و مقایسه ان با تحقیق حاضر نشان داده شده است. یکی از موارد بسیار مهم در شبیه‌سازی فرایند عطسه آن است که تابع توزیع فشار عطسه همواره بر مبنای یک تابع وابسته به زمان و دارای حالت سینوسی در نظر گرفته می‌شود.



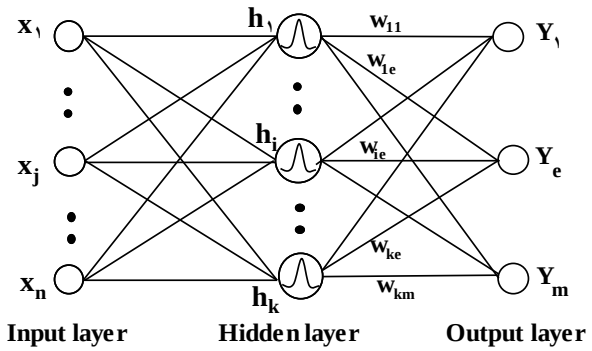
شکل ۳: فشار عطسه گاپتا [۲۳] و بوسکو [۲۴]



شکل۴: ااعتبارسنجی تحلیل انجام شده با مقالات مرجع [۱] و [۲]

٤- شبکه تابع پایه شعاعی

شبکه تابع شعاعی (RBF) یکی از انواع شبکه‌های عصبی است که برای تخمین تابع عملکرد مناسبی ارائه می‌دهد. خروجی شبکه، ترکیب خطی از توابع پایه شعاعی برای پارامترهای ورودی و نرون‌ها است. این شبکه دارای سه لایه‌ی ورودی، لایه‌ی پنهان و لایه‌ی خروجی است. داده‌ها از طریق لایه‌ی ورودی به شبکه‌ها وارد می‌شوند. ورودی‌ها می‌توانند یک بردار از اعداد حقیقی باشند. لایه‌ی پنهان شامل توابع پایه شعاعی است که نام شبکه از این خصوصیت شبکه گرفته شده است. لایه سوم، شامل نرون‌هایی است که هر یک از آن‌ها یک ترکیب خطی وزن‌دار شده از خروجی نرون‌های لایه‌ی میانی است. ساختار شبکه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵: ساختار شبکه عصبی پایه شعاعی

xj، سمبل ورودی j ام برای شبکه ای است که تعداد ورودی های آن برابر با n عدد است. لایه ی ورودی بدون اینکه تغییری در داده ها ایجاد کند، آنها را برای لایه پنهان ارسال میکند. لایه پنهان که شامل k نرون است، از توابع پایه شعاعی به‌عنوان تابع فعالیت هر یک از نرون ها بهره می

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

برد. تابع گوسی استفاده شده در نرون های لایه پنهان با رابطه زیر ارائه شده است:

$$h_i = \phi_i(X-\mu_i) = \exp\left(-\frac{\|X-\mu_i\|}{2\sigma_i^2}\right) \qquad (۱۰)$$

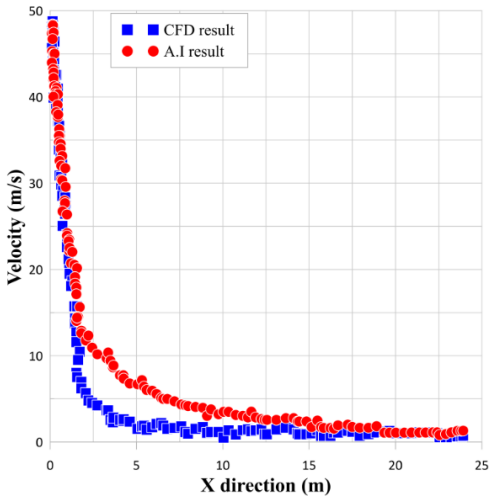
دراین‌رابطه، i اندیس نرون لایه پنهان است. μi و σi به ترتیب مرکز و شعاع پذیرش نرون هستند. حاصل توابع نرون‌های لایه مخفی برای نرون‌های لایه‌ی خروجی ارسال می‌شوند. نرون‌های لایه‌ی خروجی، از یک رابطه‌ی خطی بر روی مقادیر دریافتی از لایه‌ی پنهان استفاده می‌کند. اتصال بین نرون‌های لایه پنهان و لایه خروجی دارای وزن هستند. این وزن‌ها پارامترهای قابل آموزش شبکه هستند. به بیانی دیگر، ورودی‌های لایه‌ی خروجی، مجموع وزن‌دار توابع پایه شعاعی است، که با رابطه‌ی زیر نمایش داده شده است:

$$y_e = \sum_{i=1}^{k} w_{ie}\, h_i(X) \qquad (۱۱)$$

y_e خروجی نرون e ام لایه خروجی شبکه است.دو سطح یادگیری برای آموزش شبکه‌ی RBF وجود دارد. در سطح اول، مرکز و شعاع نرونهای لایه میانی تعیین می‌شوند. بدین منظور از روشهای مختلفی مانند انتخاب تصادفی، خود سازمان یافته و نظارت شده استفاده می‌شود. البته در این تحقیق، از خوشه‌بندی kتایی برای تعیین مراکز اولیه استفاده شده است. در سطح دوم، وزن‌های بین لایه پنهان و لایه خروجی یاد گرفته می‌شوند. یک روش معمول برای آموزش وزن‌های شبکه RBF، الگوریتم انتشار خطا است که در دیگر شبکه‌های عصبی مانند شبکه عصبی پرسپترون چندلایه-ای استفاده شده است.

۵- نتایج

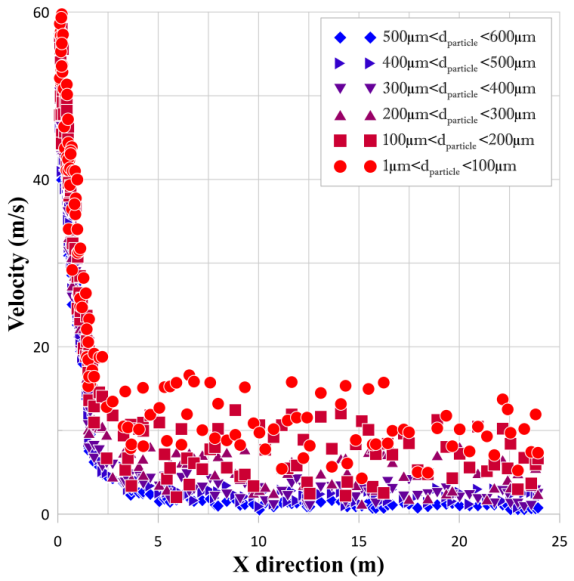
مدل‌سازی پدیده انتقال قطرات عطسه درون محیط واگن مترو به دلیل پیچیدگی‌های بسیار در انتقال ذره و نیز تولید شبکه محاسباتی اطراف قطرات در حال سقوط پیچیدگی‌های فراوانی دارد در این تحقیق با مدل ابتکاری که به‌صورت ترکیب هوش مصنوعی و مدل محاسباتی بر مبنای دینامیک سیالات بنا شده است سعی در پیش‌بینی و شبیه‌سازی الگوی انتشار در محیط واکنش واگن مترو به‌وسیله این ترکیب مهم شده است هنگامی‌که فرایند عطسه روی می‌دهد طیف وسیعی از ذرات به‌صورت تصادفی و پراکنده درون محیط اطراف فرد پراکنده می‌شود این پراکندگی بر مبنای الگوهای انتشار قطرات سرعت جریان و نیز خواص بزاق دهان است. هنگامی‌که این قطرات در محیط هوا جریان می‌یابند مدل انتقالی آنها بر مبنای وزن و شکل و هندسه قطره تغییر می‌کند. به‌عبارت‌دیگر فرایند ته‌نشینی قطرات ناشی از عطسه که بر مبنای وزن تعریف می‌شوند. در طول هندسه مسئله باتوجه‌به شرایط هندسی تغییر می‌کند ازآنجایی‌که محاسبات برای این پدیده بسیار پیچیده بوده و نیز مدل رفتاری ذرات که به‌صورت ته‌نشینی و انتقال توسط جریان هوا ادامه پیدا می‌کنند می‌تواند درک درستی از غلظ غلظت ذرات آلوده در محیط‌های مختلف واگن مترو به دست بدهد. همچنین فرایند ته‌نشینی ذرات به‌واسطه ابعاد و اندازه آنها نیز در این تحلیل قابل‌بررسی و تفکیک است در مسئله احتمال فرایند آلوده شدن افراد در این محیط دو پارامتر مهم مدت‌زمان و غلظت ذرات در اطراف فرد بیشترین اهمیت را دارد در شکل شماره ۶ تابع توزیع سرعت ذرات بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ میکرون در طول واگن مترو برای هر دو حالت تحلیل عددی و روش هوش مصنوعی نشان‌داده‌شده است نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که با مقایسه این دو روش تطبیق خوبی را در پیش‌بینی سرعت و نیز اثر فاصله بر آن نشان می‌دهد در این شکل مشاهده می‌شود که بیشترین افت سرعت در فاصله یک تا دو متری فرد عطسه کننده است.



شکل۶: توابع توزیع سرعت بر مبنای تحلیل هوش مصنوعی و تحلیل عددی

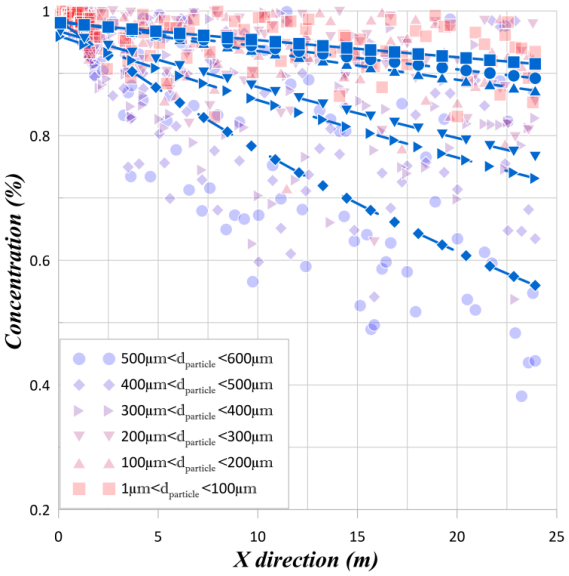
در شکل شماره ۷ همچنین مشاهده می‌شود که سرعت ذرات در انتهای مسیر و نزدیک خروجی درب واگن مترو به‌سرعت کاهش‌یافته و عملاً توسط جریان هوا ذرات معلق منتقل می‌شود که این مسئله افزایش احتمال آلودگی و انتشار ویروس را در پی دارد. می‌دانیم که ذرات با قطرهای مختلف به دلیل نیروی جاذبه و برآیند نیروهای وارد بر آن‌ها نرخ متفاوتی است رسوب نشینی را تجربه می‌کنند و بر این مبنا مقایسه دامنه متفاوت از قطر ذرات معلق در هوا می‌تواند کمک کند اثر قطر ذرات بر سرعت ته‌نشینی می‌تواند نقش مؤثری بر فرایند انتشار آلودگی در واگن مترو داشته باشد یکی از مهم‌ترین موارد انتشار آلودگی و ویروس درصد غلظت ویروس نسبت به فاصله طولی برای محیط داخلی واگن مترو است. در شکل شماره ۸ توزیع سرعت در فاصله ابتدا تا انتهای واگن مترو به‌صورت یکنواخت نشان‌داده‌شده است نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که با افزایش قطر ذرات سرعت ته‌نشینی کاهش می‌یابد همچنین سرعت متوسط ذرات با کاهش قطر آنها در طول واگن مترو به‌صورت نسبی افزایش می‌یابد

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]



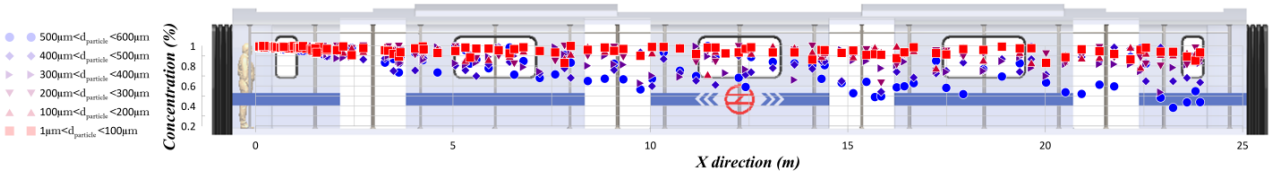
شکل ۷: توزیع سرعت ذرات بر مبنای ذرات معلق در هوا برای دامنه ۱ تا ۶۰۰ میکرون در طول واگن مترو

این مسئله نشان می‌دهد که ذرات سبک و دارای قطر کم به‌راحتی توسط جریان هوا منتقل می‌شود به‌طوری‌که می‌توان ذرات یک تا ۳۰۰ میکرون را عملاً معلق درون هوا در نظر گرفت. طیف وسیعی از ذرات بین ۱ تا ۳۰۰ میکرون درون هوای داخل واگن مترو توانایی انتقال و حرکت دارد سرعت انتقالی نظرات عملاً بر بنای جریان هوای داخلی واگن مترو است به‌عبارتی‌دیگر مهم‌ترین پارامتر در انتشار آلودگی درون محیط واگن مترو وجود جریان هوای پیوسته در کل مسیر داخلی است انتقال جریان درون واگن مترو که موجب پراکندگی ذرات بین ۱ تا ۳۰۰ میکرون می‌شود علاوه بر پوشش کل فضای داخلی واگن مترو قابلیت چسبندگی و ته‌نشینی روی سایر محیط‌ها در فواصل دورتر را نیز دارد که این مسئله به افزایش آلودگی محیطی کمک فراوانی می‌کند همچنین مشخص شد که در فاصله ۲ متری بیشتر ذرات سنگین ته‌نشین می‌شوند که این مسئله باتوجه‌به سرعت هوای درون واگن مترو می‌تواند تغییر پیدا کند ته‌نشینی ذرات بر مبنای انتشار آلودگی و نیز رسوب ذرات حاوی ویروس بر روی بسترهای داخلی واگن مترو در این نواحی بسیار زیاد بوده می‌تواند به‌سرعت موجب افزایش شیوع بیماری می‌شود. نکته بسیار مهم در این مسئله آن است که وجود جریان سراسری از انتها تا ابتدای واگن مترو عملاً موجب پراکندگی راحت ویروس و رسوب ذرات حاوی بیماری در سطوح می‌شود در به‌کارگیری فرایندهای تهویه مطبوع درون محیط واگن مترو و واگن‌های مسافری این نکته بسیار قابل‌ملاحظه است که فرایند تزریق هوا و مکش آن به‌صورت محلی و موضعی در نظر گرفته شود زیرا انتقال ذرات حاوی ویروس در فواصل طولانی به‌وسیله جریان هوا به‌سادگی صورت می‌گیرد لذا با تغییر فرایند مکش هوا و نیز افزایش تعداد خروجی‌ها و ورودی‌های جریان هوا در واگن می‌توان از انتشار آلودگی جلوگیری کرد.



شکل ۸: توزیع غلظت در طول واگن مترو بر اساس تغییرات قطر

پارامترهای تغییر غلظت و نیز تغییرات آن در طول محیط داخلی واگن مترو یکی از مهم‌ترین نتایج و نیازمندی‌های مطالعه اثر آلودگی فرایند عطسه در واگن مترو است مطابق شکل هفت به‌روشنی مشاهده می‌شود که با افزایش قطر ذرات درصد غلظت ذرات معلق در هوا به شدت کاهش می‌یابد این درصد که به‌صورت تعداد در هر مترمکعب در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد که افزایش قطر ذرات منجر به کاهش غلظت می‌شود کاهش غلظت به واسطه پدیده رسوب است در طراحی سیستم های تهویه غلظت می‌تواند یکی از فاکتورهای مهم باشد. توزیع پراکندگی ذرات در شکل ۹ نشان داده شده است. پراکندگی نشان داده شده در این شکل بر



شکل ۹: توزیع ذرات در دامنه کلی واگن مترو

مبنای محاسبات به‌دست‌آمده از هوش مصنوعی است یکی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی کاهش هزینه محاسباتی و پیش‌بینی و ارائه الگویی تطابقی برای داده‌هایی خارج از منطقه محاسباتی است این مسئله به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود آن است که سرعت بسیار بالا و نیز دقت مناسب به کمک فرایندهای محاسباتی می‌آید. به‌عبارت‌دیگر برای یک پیش‌بینی دقیق به روش هوش مصنوعی تنها نیاز به آموزش شبکه هوش مصنوعی با داده‌های یک تحلیل است مطابق آنچه شکل شماره ۹ نشان

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

می‌دهد توزیع ذرات در طول واگن مترو به دلیل تغییرات مختلف ذرات منطبق بر شکل شماره ۸ و الگوهای ته‌نشینی بوده است.

٦-نتیجه‌گیری

در حال حاضر محافظت در برابر کووید-۱۹ و ایجاد طرح‌های ارزیابی خطر در سلامت و رفاه جامعه نقش اساسی دارد. حمل‌ونقل عمومی از اصلی‌ترین مسیرهای انتقال ویروس است. درک الگوهای انتشار ویروس و پارامترهای مؤثر بر ماندگاری ویروس در محیط از جمله موارد اصلی مطرح شده در ماه‌های اخیر است. در این مطالعه، سعی شده است از طریق تجزیه‌وتحلیل فرایند عطسه یک فرد آلوده در یک واگن مترو، یک رویکرد جدید برای پیش‌بینی توزیع قطرات ارائه شود. فرایند تشکیل و انتشار قطرات از طریق استفاده از حجم مایعات و روش LES به دهان فرد و محیط اطراف آن مدل‌سازی شد. سپس داده‌های محاسباتی برای توسعه به شبکه عصبی تابع پایه شعاعی برای پیش‌بینی تکامل توزیع قطرات در کل حجم منتقل شده است.

نتایج کلیدی این کار را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد.

۱-شرایط مرزی تأثیر قابل‌توجهی بر پراکندگی قطرات دارد. سرعت محیط و سرعت اولیه قطرات می‌تواند دامنه ناحیه مؤثر را افزایش دهد.

۲-قطرات قطر کوچک‌تر (کمتر از ۲۵۰ میکرون) به‌احتمال زیاد در هوا معلق باقی‌مانده و بنابراین به سایر قسمت‌های محیط منتقل می‌شوند.

۳-نتایج نشان می‌دهد که حدود ۵۹٪ از قطرات اولیه در ۲ متر اول فرد عطسه کننده رسوب می‌کند. قطرات قطر بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون به‌احتمال زیاد در این فاصله می‌ریزند و با زمین برخورد می‌کنند.

۴-غلظت قطرات می‌تواند در ۳ متر اول به ۸۷٪ کاهش یابد. بااین‌وجود، این روند به شدت تحت تأثیر دمای محیط و سرعت جریان هوا قرار دارد.

مراجع

[1].Chen, L.-D., 2020, *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, p. 113568.

[2]. Meccariello, G. and O. Gallo, 2020, *What ENT doctors should know about COVID-19 contagion risks.* Authorea Preprints.

[3]. Diwan, S.S., et al., 2020, *Understanding Transmission Dynamics of COVID-19-Type Infections by Direct Numerical Simulations of Cough/Sneeze Flows.* Transactions of the Indian National Academy of Engineering, p. 1.

[4].Rockett, R.J., et al., 2020, *Revealing COVID-19 transmission in Australia by SARS-CoV-2 genome sequencing and agent-based modeling.* Nature medicine. **26**(9): p. 1398-1404.

[5].Enserink, M. and K. Kupferschmidt, 2020, *With COVID-19, modeling takes on life and death importance*. 2020, American Association for the Advancement of Science.

[6].Ivorra, B., et al., 2020, *Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China.* Communications in nonlinear science and numerical simulation,. **88**: p. 105303.

[7].Chaudhuri, S., et al., 2020, *Modeling the role of respiratory droplets in Covid-19 type pandemics.* Physics of Fluids, **32**(6): p. 063309.

[8].Abuhegazy, M., et al., 2020, *Numerical investigation of aerosol transport in a classroom with relevance to COVID-19.* Physics of Fluids, **32**(10): p. 103311.

[9].Hassani, K. and S. Khorramymehr, 2019, *In silico investigation of sneezing in a full real human upper airway using computational fluid dynamics method.* Computer methods and programs in biomedicine, **177**: p. 203-209.

[10].Singh, R.K. and S.N. Tripathi, 2020, *Application of National Aerosol Facility (NAF) in Designing of a Ventilation System for Isolation Rooms to Minimize Interpersonal Exposure of Sneezing/Coughing.* Transactions of the Indian National Academy of Engineering, p. 1.

[11].Kotb, H. and E.E. Khalil, 2020, *Impact of Sneezed and Coughed Droplets Produced from a Moving Passenger on Other Passengers inside Aircraft Cabins*. in *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum*.

[12].Hasan, A., 2020, *Tracking the Flu Virus in a Room Mechanical Ventilation Using CFD Tools and Effective Disinfection of an HVAC System.* International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, **28**(02): p. 2050019.

[13].Busco, G., et al., 2020, *Sneezing and asymptomatic virus transmission.* Physics of Fluids, **32**(7): p. 073309.

[14].Verma, S., M. Dhanak, and J. Frankenfield, 2020, *Visualizing droplet dispersal for face shields and masks with exhalation valves.* Physics of Fluids, **32**(9): p. 091701.

[15].Li, H., et al., 2020, *Dispersion of evaporating cough droplets in tropical outdoor environment.* Physics of Fluids, **32**(11): p. 113301.

[16].Christodoulou, L., et al., 2020, *State prediction of an entropy wave advecting through a turbulent channel flow.* Journal of Fluid Mechanics, **882**.

[17].Alizadeh, R., et al., 2020, *Application of Machine Learning to Investigation of Heat and Mass Transfer Over a Cylinder Surrounded by Porous Media-The Radial Basic Function Network.* Journal of Energy Resources Technology, p. 1-18.

[18]Abad, J.M.N., et al., 2020, *Analysis of transport processes in a reacting flow of hybrid nanofluid around a bluff-body embedded in porous media using artificial neural network and particle swarm optimization.* Journal of Molecular Liquids, p. 113492.

[19].Yeoh, G.H. and J. Tu, 2019, *Computational techniques for multiphase flows*. Butterworth-Heinemann.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]
[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]

[20].Kolev, N.I. and N.I. Kolev, 2007, *Multiphase flow dynamics: Fundamentals*. Vol. 1. Springer.

[21].Crowe, C.T., et al., 2011, *Multiphase flows with droplets and particles*. CRC press.

[22].Pope, S.B., 2001, Turbulent flows., IOP Publishing.

[23].Gupta, J., C.H. Lin, and Q. Chen, 2009, Flow dynamics and characterization of a cough. Indoor air, 19(6): p. 517-525.

[24].Busco, G., et al., 2020, Sneezing and asymptomatic virus transmission. Physics of Fluids, 32(7): p. 073309.

[25].Broomhead, D and D. Lowe, 1988, *Multivariable functional interpolation and adaptive networks*. Complex Systems, no. **2** ,p. 321-355.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.20088345.1399.14.5.8.4]

[DOI: 10.52547/joc.14.5.15]