Fuzzy modeling of the lung with the aim of analyzing the effects caused by corona

Ali Rezavand [1,*]

[1] Islamic Azaz Unversity of Mashhad, Mashhad, Iran
E-mails: alirezavand384@gmail.com
* Corresponding Author

Abstract
Fuzzy logic and systems have a high ability to model and approximate functions. With the outbreak of the corona pandemic, the mathematical modeling of the respiratory flow in the human lung and the dynamics of respiratory aerosol particles that contain the SARS-CoV-2 virus have become more important. The present research is a meta-analysis of the research done by the author and others to examine and present the challenges and complexities of developing mathematical modeling of breathing and aerosols floating in breathing air. The intricacies of the problem are divided into two categories: physical and mathematical. In the physics section, the limitation in reconstructing the entire geometry of the solution due to the presence of a large number of bronchi and air bubbles and the lack of accuracy in imaging devices, individual differences in anatomy, physiological characteristics and mechanisms of the respiratory system, and the difference in the dynamic behavior of aerosols in different diameters have been stated. In the mathematical section, simple methods to solve partial differential equations and computational fluid dynamics approach are expressed as the most accurate common methods. Finally, considering the development of personalized medicine and the use of 3D models of people's bodies to help doctors make decisions, as well as the need for a quick solver for decision-making in the face of the Covid-19 pandemic, a new data-based but physics-informed method has been proposed.

Keywords
Fuzzy system, computational intelligence, corona virus, system modeling and identification.

مدل‌سازی فازی ریه با هدف تحلیل تاثیرات ناشی از کرونا

علی رضاوند[۱و*]
دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد مشهد، مشهد، ایران
ایمیل نویسندگان: alirezavand384@gmail.com

چکیده

منطق و سیستم های فازی توانایی بالایی در مدل‌سازی و تقریب توابع دارند. با وقوع پاندمی کرونا مدلسازی ریاضیاتی جریان تنفسی در ریه انسان و دینامیک ذرات آیروسل تنفسی که حاوی ویروس SARS-CoV-2 هستند، اهمیت بیشتری یافته است. پژوهش حاضر فراتحلیلی از پژوهش‌های انجام شده نگارنده و دیگران است تا چالش‌ها و پیچیدگی‌های توسعه مدلسازی ریاضیاتی تنفس و آیروسل‌های شناور در هوای تنفسی را بررسی و ارائه نماید. پیچدگی‌های مسئله به دو دسته فیزیکی و ریاضیاتی تقسیم می‌شود. در بخش فیزیک محدودیت در بازسازی کل هندسه حل به علت وجود تعداد زیاد برونش‌ها و حبابچه‌های هوا و فقدان دقت لازم در دستگاه‌های تصویربردای، تفاوت‌های فردی در آناتومی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مکانیزم‌های دستگاه تنفسی و تفاوت رفتار دینامیک آیروسل‌ها در قطرهای مختلف بیان شده است. در بخش ریاضیاتی روش‌های ساده تا حل معادلات دیفرانسیل جزئی و رهیافت دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان دقیق‌ترین روش رایج بیان می‌شود. در نهایت با توجه به توسعه پزشکی شخصی و استفاده از مدل‌های ۳ بعدی بدن افراد جهت کمک به تصمیم‌گیری پزشکان، همچنین نیاز به حل‌کننده سریع برای تصمیم‌سازی در مواجه با پاندمی کوید-۱۹ یک روش جدید مبتنی بر داده اما مطلع از فیزیک پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: سیستم فازی، هوش محاسباتی، ویروس کرونا، مدل‌سازی و شناسایی سیستم.

نام نویسنده مسئول: علی رضاوند
ایمیل نویسنده مسئول: alirezavand384@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰
تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷

۱- مقدمه

براساس آمار سازمان بهداشت جهانی در زمان انجام این پژوهش بیش از ۶ میلیون ایرانی به ویروس SARS-CoV-2 عامل بیماری کوید-۱۹ یا همان کرونا مبتلا شده‌اند و از این افراد بیش از ۱۲۹ هزار نفر در مدت دو سال گذشته فوت کرده‌اند. این آمار برای جهان ۲۶۳ میلیون نفر مبتلا بوده است با بیش از ۵ میلیون و دویست هزار نفر فوتی. این پاندمی در آمریکا تا کنون بیش از ۴۸ میلیون نفر مبتلا و حدود ۷۷۸ هزار نفر فوتی داشته است [۱]. آئروسل‌های حاوی این ویروس می‌توانند توسط یک فرد آلوده از طریق تنفس، صحبت کردن، سرفه و یا عطسه تولید شوند که در محیط پخش و منتقل می‌شوند [۲]. ذرات با قطر آیرودینامیکی در محدوده کمتر از ۱ تا۱۰ میکرومتر با RNA ویروس SARS-CoV-2 می توانند از طریق دهان یا بینی وارد دستگاه تنفسی شوند [۳]. این ویروس می تواند برای ساعت ها در آئروسل ها فعال باقی می‌ماند [۴]. با توجه به گسترش سریع ویروس بیماری کوید-۱۹، نیاز فوری به مطالعه امکان انتقال آن از طریق هوا و تأثیر آن بر ریه که به عنوان ارگان اصلی بدن که توسط ویروس مورد حمله قرار می‌گیرد، وجود دارد [۵]. با بیش از ۱۰ هزار لیتر هوای پردازش شده در روز، ریه ها محل اصلی تبادل بدن با محیط هستند [۶]. بررسی مکانیزم های تنفس و دینامیک ذرات آیروسل ورودی به آن پیش از بروز پاندمی کرونا نیز حائز اهمیت بوده است. فرای شیوع کوید-۱۹، بیماری تنفسی یک مشکل مهم در سراسر جهان است. آسیب شناسی در راه‌های هوایی فوقانی و ریه برای تشخیص و درمان بسیار دشوار است، زیرا پاسخ به بیماری اغلب در بین بیماران متفاوت است. مدل‌های محاسباتی مدت‌هاست که برای کمک به درک عملکرد تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرند، و در کنار افزایش وضوح تصویربرداری پزشکی و افزایش قابلیت تصویربرداری عملکردی، پیشرفت در دانش بیولوژیکی، تکنیک‌های ریاضی و قدرت محاسباتی نیز تکامل یافته‌اند [۷]. اگرچه داده‌های تصویربرداری دوزیمتری به روش بررسی بر روی جاندار[۱] نتایج مناسبی را در مورد رسوب کلی و منطقه‌ای ذرات آیروسل وارد شده به ریه در افراد سالم و مبتلا به آسم ارائه می‌کند، اما استفاده از این روش‌ها به دلیل هزینه و نیاز به قرار گرفتن افراد در معرض پرتوهای یونیزه با محدودیت مواجه هستند [۸]. ذرات آیروسل می تواند شامل ذرات تنفسی بیرون آمده از ریه یک فرد سالم یا بیمار، ذرات استنشاقی پودرهای دارویی یا ذرات آلودگی هوا مانند PM2.5 به معنای ذرات با قطر ریزتر از ۲.۵ میکرومتر یا PM10 برای ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر و یا انواع بایوآیروسل ها باشد. کلمن و همکاران (۱۴۰۰) با مطالعه بر روی ۲۲ بیمار کرونایی، در سه حالت ۳۰ دقیقه تنفس، ۱۵ دقیقه تکلم و ۱۵ دقیقه آواز خواندن، میزان ویروس SARS-CoV-2 موجود در ذرات آیروسل تنفسی آن‌ها را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد ۸۵ درصد از کل بار ویروسی در آئروسل‌های ریز (قطر ≥۵ میکرومتر) در مقایسه با آئروسل‌های درشت (قطر< ۵ میکرومتر) منتشر می‌شود [۹]. از این رو مدلسازی ریاضیاتی و پیش بینی میزان تاثیر و نوع پخش ویروس SARS-CoV-2 در ذرات آیروسل تنفسی خارج شده از دهان و بینی بیماران بویژه برای شهرهای با سابقه آلودگی هوا همچون کلان شهر تهران بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله روش‌های مختلف مدلسازی بیان شده و بصورت ویژه چالش‌ها و

[۱] in vivo

محدودیت‌های روش دینامیک سیالات محاسباتی مبتنی بر پژوهش‌های قبلی انجام شده توسط نگارنده و دیگران بررسی می‌شود.

۲- روش‌های مدلسازی جریان تنفسی و دینامیک آیروسل های حاوی ویروس

مدلسازی دستگاه تنفسی به دو روش اصلی تقسیم می‌شود. مدل‌سازی ریاضی با تکنیک‌های سنتی که شامل مدل‌های آماری- فرمول های ساده مبتنی بر تست های تجربی می‌شود و رویکرد دیگر روش حل عددی مبتنی بر فیزیک مسئله است. این حل علاوه بر مدلسازی ریاضیاتی حرکت سیال، حل دقیق‌تری نیز برای توصیف کمی رسوب ذرات آیروسل بر اساس تفسیر فیزیکی ارائه می‌کند.

۲-۱ مدل سازی آماری

به عنوان یک رویکرد پاسخ سریع، بسیاری از محققان تلاش کرده‌اند تا داده‌های نرخ کل نشست آیروسل را در یک منحنی واحد در یک مدلسازی آماری ارائه کنند. بسیاری از این مطالعات بر توسعه یک فرمول کلی (جهانی) جدید یا نشان دادن ضریب همبستگی بر اساس داده‌های تجربی مانند استفاده از رگرسیون خطی و غیرخطی، بیان جبری و فرمول لگاریتمی متمرکز شده‌اند [۱۰]. مروری جامع بر روی تحقیقات بر روی روش برازش منحنی توسط مارتین و فینلای (۱۳۸۵) در موضوع بحث انجام شده‌است [۱۱]. به طور گسترده پذیرفته شده‌است که رسوب ذرات در دستگاه تنفسی به دلیل سه مکانیسم اصلی رسوب رخ می‌دهد: اینرسی و اختلاط آشفته، رسوب گرانشی، و انتشار براونی. هر مکانیزم رسوب روند خاص خود را دارد تا در کدام بخش از راه‌های هوایی تنفسی دارای نشست مؤثرتری باشد. با توجه به آنکه فیزیک مسئله در هر یک از این مکانیزم‌ها با دیگری متفاوت است از این رو بیشتر تلاش‌ها بر محاسبه همبستگی تجربی هر مکانیزم رسوب‌گذاری به‌طور جداگانه متمرکز شده است. تنظیم یک فرمول خاص که تمامی شرایط را پوشش می‌دهد، دقت را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. مطالعات آلودگی هوا، همبستگی منفی بین مدل‌های آماری، که عمدتاً مبتنی بر رگرسیون خطی هستند، و پارامترهای مختلف مانند غلظت های مختلف ذرات معلق را در نظر می گیرند، نشان داده است. بنابراین مدلسازی با این روش آماری مستلزم تولید بسیاری از فرمول های تنظیم شده برای شرایط خاص و ویژه هریک است.

۲-۲ مدلسازی ریاضیاتی مبتنی بر فیزیک مسئله

در واقع، دست یافتن به یک توصیف ریاضی از حرکت جریان هوای تنفسی کار دشواری است، زیرا این پدیده فیزیکی غیرخطی با مجهولات زیاد دارد و مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی کوپل شده به نام معادلات ناویر- استوکس در مکانیک سیالات را در بر می گیرد. مجهولات اصلی چگالی، جرم، فشار، سرعت و دما هستند. علاوه بر این، معادلات دینامیک ذرات استنشاقی نیز بصورت کوپل با جریان تنفسی یا بصورت یک فاز مجزا، بایستی در نظر گرفته شود. نیروهای فیزیکی زیادی مانند نیروی برهمکنش ذرات، نیروی برآونی، نیروی درگ، نیروی برآی سافمن، نحوه برخورد یا جذب ذرات به جداره نای و برونش ها، بسته به سایز و شکل ذرات جهت واقعی تر شدن مدلسازی و شبیه‌سازی ها بایستی به مدل ریاضیاتی درآید. ریه در حدود ۶۵ هزار لوله برونشی دارد لذا مدلسازی این تعداد زیاد با لحاظ شرایط فیزیکی مسئله مقدور نیست. از سوی دیگر هوای تنفسی در حالت فعالیت بدنی یا ورزش کردن در حفره بینی و ناحیه فوقانی دستگاه تنفسی جریانی آشفته داشته و به تدریج آرام خواهد شد. برای مدلسازی بهتر لازم دارد تا معادلات آشفتگی و ناپایداری های جریان نیز به مدلسازی افزوده شود. معمولا برای مدلسازی آشفتگی از مدلسازی های جبری تا مدل‌های دو معادله ای RANS معروف به مدل‌های متوسط‌گیری زمانی ناویر استوکس و یا شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ مقیاس استفاده می‌شود. در این حالت معادلات پیوستگی و ناویر استوکس تراکم ناپذیر بصورت زیر می‌باشد:

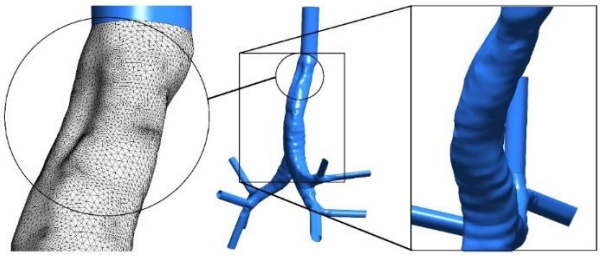
$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(v + v_T)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right] \qquad (2)$$

در این معادلات u معرف سرعت، p معرف فشار، ρ چگالی هوای تنفسی، v لزجت مولکولی سینماتیکی هوا و v_T لزجت گردابه‌ای آشفتگی جریان می‌باشند. تفاوت ها در حل با انواع مدلسازی آشفتگی دو معادله ای در سمت راست ریه بیشتر از سمت چپ مشخص می‌شود. حیدری نژاد و دیگران (۱۳۹۸) نشان داده اند که مدلسازی دو معادله‌ای برای ناحیه نای و دو نسل بعدی بویژه در نرخ های تنفسی ۶۰ میلی لیتر در دقیقه و بیشتر مناسب نبوده و بهتر است از رهیافت شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ مقیاس استفاده شود که متعاقبا معادلات پیچیده‌تری را حل کرده و از این رو حل مسئله با آن نسبت به روش‌های دو معادله‌ای، زمان بیشتری نیاز دارد.

از پیچیدگی های دیگر این مسئله آنست که برای دقت بالاتر لازم است تا هندسه حل، براساس الاستیسیته بافت ریه، در دم و بازدم، منبسط و منقبض شود. این خود بر پیچیدگی شرایط مرزی حل و نوع شبکه بندی می افزاید. علاوه بر تمامی اینها یک حل بسیار دقیق باید چند مقیاسی باشد تا حرکت نایژه ها و مکانیزم دفاعی و پاک کنندگی مایع مخاطی موکوس در جداره راه های هوایی بالایی و بخصوص در نای مدلسازی شود. با در نظر گرفتن ذرات آیروسل معلق در هوا و نیز لایه نازک مایع مخاطی روی جداره ها در کنار حل جریان هوای تنفسی، یک پدیده چند فازی ایجاد می‌شود که پیچیدگی بالایی خواهد داشت. همچنین حبابچه های تبادل گازی از نسل ششم به بعد اطراف برونش ها در تعداد قابل توجه وجود دارند. براساس بهترین دانش نگارنده، تاکنون در یک پژوهش تمام موارد بیان شده با هم برای هندسه ریه واقعی انسان مدلسازی و حل عددی نشده است. حل عددی جریان سیال مبتنی بر معادلات ناویر استوکس را دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) گویند که دقیق ترین پیش بینی خط مسیر جریان و رسوب ذرات محلی است. از این رو اگرچه با حل عددی در دینامیک سیالات محاسباتی می توان یک یا چند پیچیدگی دستگاه تنفسی و ورود ذرات حاوی ویروس را در آن مدلسازی کرد اما همچنان حل یکباره و لحاظ تمامی شرایط به لحاظ ترم های هزینه ای در زمان و پردازنده ها مقرون بصرفه نیست. از این رو بیشتر مدلسازی ها در هندسه بازسازی شده از تصاویر سی تی اسکن یک ناحیه از ریه انجام شده است. با توجه به اینکه دینامیک سیالات محاسباتی، دسته ای از معادلات دیفرانسیل جزئی را در شبکه ای از سلول ها منطبق شده بر هندسه فیزیکی مسئله حل می کند، پس توانایی درک جزئیات هندسه ناسل بینی، دهان، فارینکس، لارینکس، نای، برونش ها و حبابچه ها را دارد. این مسئله برتری قابل توجهی برای این روش نسبت به سایر روش‌های ریاضیاتی بوجود آورده است. دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان شبیه‌سازی واقعی دینامیک ریه-ذرات استنشاقی محبوب‌ترین مدل‌سازی ریاضی است که از محاسبات تکراری برای پیش‌بینی نرخ نشست ذرات استنشاقی استفاده می‌کند. برای حل این معادلات دیفرانسیل جزئی، این رهیافت فرض می‌کند که هوای تنفسی یک محیط پیوسته است که می‌تواند به طور پیوسته به عناصر یا حجم‌های گسسته تقسیم شود که مجموعاً شبکه یا مش نامیده می‌شوند. در هر سلول، معادلات ناویر-استوکس به معادلات جبری قابل حل تبدیل می‌شوند. محاسبات با کارآیی بالا جایی است که از ابررایانه‌ها و تکنیک‌های پردازش موازی برای انجام محاسبات مورد نیاز برای شبیه‌سازی تعامل جریان هوا و ذرات با تعریف شرایط مرزی ورودی، خروجی و دیوارها در

بیش از چند میلیون سلول شبکه‌ای استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، روزبهانی و همکاران (۱۳۹۷) در یک مطالعه بر روی شبیه سازی جریان تنفسی در هندسه واقعی بازسازی شده از تصاویر سی تی اسکن قابلیت روش دینامیک سیالات محاسباتی و لزوم توجه به مدلسازی هندسی پستی و بلندی های غضروفی و جداره ها را نشان داده اند.



شکل ۱- نمایش تطبیق ریزی سلول های شبکه در مدلسازی با دقت ناهمواری های هندسی در مدلسازی به روش دینامیک سیالات محاسباتی

آزمایش‌های تجربی همواره برای تأیید نتایج مدلسازی های آماری یا دینامیک سیالات محاسباتی ضروری هستند. دو پارامتر تاثیر گذار دیگر که زمان حل براساس دینامیک سیالات محاسباتی را زیاد می کند، یکی بازه های زمانی حل معادلات در هر یک از سلول ها است و دیگر اندازه ریزی شبکه. این دو پارامتر در عدد کوارنت تعریف می‌شوند. به هر صورت برای شبیه سازی گردابه های کنار دیواره ها لازم است تا در بازه های هر یک ده تا یک صد هزارم زمان و حتی در مواردی یک در میلیون ثانیه معادلات حل شوند و نیز برای انطباق مناسب شبکه با جزئیات پستی و بلندی ها و فرورفتگی های حفره بینی و دهان و نای و غضروف ها و مشخصات فردی جداره برونش های هر فرد، لازم است تا ابعاد سلول ها نیز بخوبی ریز باشد که از چند صد هزار تا چند ده میلیون سلول لازم دارد. با مقایسه در ترم های تنش برشی دیواره، سرعت و نیز پروفیل سرعت نشان داده اند که وجود غضروف ها برای تحلیل جریان نای بسیار با اهمیت بوده و همچنین این تأثیر تا برونش های نسل دو به طور قابل چشمگیر وجود دارد؛ اگرهه به واسطه ایجاد گردابه ها و جدایش جریان در نای، انرژی آن و در نتیجه سرعتش در برخی نواحی برونشه ای نسل سوم در مقایسه با مدل ساده و بدون پستی و بلندی های غضروفی جداره نای، کاهش می یابد.

حتی با لحاظ این موارد، هنوز نزدیک به حل مناسب برای شبیه سازی متابولیسمی بر روی التهاب های احتمالی در نای نشده ایم. حل دینامیک سیالات محاسباتی تنها برای ۴ ثانیه تنفس، با شبکه ریز و حل گردابه های بزرگ مقیاس، از یک ماه تا چهار ماه طول می کشد. این فقط برای تست یکی از شرایط محیطی یا اندازه ذرات یا غلظت آنها است. کاربر جهت حل معادلات ناویر استوکس در دینامیک سیالات محاسباتی به دانش تخصصی و پیش نیازهای زیادی از علم مهندسی مکانیک سیالات نیاز دارد. در حالی که در بسیاری از موارد این مدلسازی ها در سایر رشته ها مانند داروسازی و پزشکی، هواشناسی، آمار، مهندسی بهداشت، تصمیم گیری و سیاست گذاری حوزه سلامت و آلودگی هوا نیز ضرورت می یابد.

۲-۳ مدلسازی مبتنی بر داده به عنوان یک رویکرد جدید

اخیراً، پیشرفت‌های سریع در قدرت محاسباتی نیز به افزایش در دسترس بودن مجموعه داده‌های بزرگ از شبیه‌سازی‌های مکانیک سیالات کمک کرده است. بنابراین، علاقه به استفاده از تکنیک های یادگیری ماشین در زمینه شبیه سازی جریان افزایش یافته است. یادگیری ماشینی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که از انواع تکنیک‌های آماری، احتمالی و بهینه‌سازی استفاده می‌کند که به رایانه‌ها اجازه می‌دهد تا از نمونه‌های گذشته یاد بگیرند و الگوهای دشوار را از مجموعه داده‌های بزرگ، یا پیچیده تشخیص دهند. مطالعات بسیار کمی وجود دارد که بر کاربرد تکنیک های داده کاوی در دینامیک و نشست ذرات آیروسل در ریه انسان تمرکز داشته اند. تریسی و همکاران چالش‌های بکارگیری تکنیک‌های یادگیری ماشین را در یک محیط دینامیک سیال مورد بحث قرار داد.

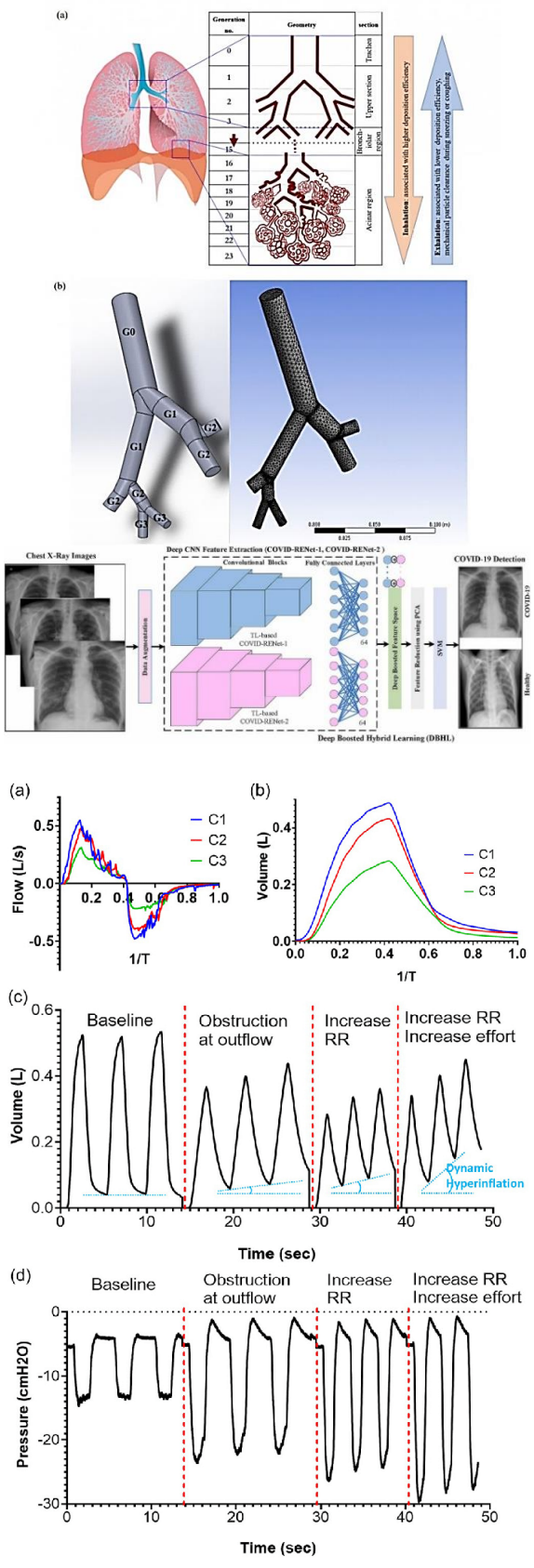
اگرچه تحقیقات در این زمینه هنوز در مراحل مقدماتی هستند، اما به نظر می رسد رویکردهای داده‌کاوی و روش‌های یادگیری ماشین، ابزار مناسبی باشند. شبکه‌های عصبی همیشه یکی از جذاب ترین مدل‌های یادگیری ماشین بوده اند. در صورت وجود غیرخطی‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی بهتر از سایر مدل‌های ریاضی مبتنی بر نتایج تجربی مانند مدل‌های تجربی، مدل‌های قطعی و مدل‌های تصادفی هستند، زیرا شبکه‌های عصبی مصنوعی برخلاف روش‌های رگرسیون خطی که نیاز به مدلسازی صریح دارند، غیرخطی‌ها را به‌طور خودکار مدلسازی می‌کنند. مقاله حاضر یک روش مدل‌سازی مبتنی بر داده جدید را با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی برای جلوگیری از رویکرد محاسباتی تکراری دینامیک سیالات محاسباتی و یک پیش‌بینی‌کننده سریع مکمل برای روش‌های تجربی و دینامیک سیالات محاسباتی پیشنهاد می‌کند در حالی که قابلیت بیشتری نسبت به مدل‌سازی آماری دارد. علاوه بر این، کد پیش‌بینی‌کننده شبکه عصبی مصنوعی، برای کاربران غیرمتخصص مانند متخصصان پزشکی و آمارگیران سلامت جذاب خواهد بود. این مدل‌ها اغلب به عنوان یک سازش خوب بین سادگی و اثربخشی در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت، نیاز به ترم های پردازشی رایانه‌ای و زمان در مقایسه با شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی بسیار کاهش می‌یابد.

۳- مدلسازی براساس بانک داده‌های ترکیبی

رهیافت مبتنی بر تخمین براساس شبکه‌های عصبی مصنوعی، می تواند از انواع مختلف این نوع از شبکه‌ها استفاده نماید. طبق مطالعات انجام شده در شبکه عصبی مصنوعی ELM نسبت به سایر روش‌های مرسوم، نود های پنهان، نیاز به تنظیم شدن ندارند و به تصادف انتخاب می‌شوند. مسئله‌ی دیگر که بزرگترین چالش در مدلسازی مبتنی بر داده در مسئله تنفس و ورود ذرات به ریه می‌باشد، کمبود داده‌ها است. رهیافت شبکه‌های عصبی مصنوعی به شدت به تعداد و ابعاد داده‌ها وابسته هستند. این مشکل زمانی اهمیت بیشتری می یابد که حوزه مسائل پزشکی بررسی شود و امکان انجام گسترده تست های تجربی بر روی ریه واقعی یک فرد زنده ممکن نیست. هزینه تست های تجربی بر روی مدل‌های ساخته شده نیز باعث شده است داده‌های تجربی در این زمینه اندک باشد همچنین امکان مشاهده برخی ویژگی های جریان در تست های تجربی به سختی ممکن است. از این رو استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان مکمل بانک داده ارائه شده است. همچنین می تواند به گردآوری داده‌های شرایط مختلف بیشتری جهت استفاده در بانک داده‌ها منجر شود و دامنه تخمین ها را بیشتر و دقت را بالاتر ببرد. با این حال مدلسازی از ریه برای تست های تجربی و نیز مدلسازی ریاضیاتی از روابط فیزیکی در شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی خود موجب ورود خطا به داده‌ها می گردد و این خطا در مدلسازی براساس داده‌ها نیز وجود خواهد داشت. پس افزایش دقت تست های تجربی یا شبیه‌سازی‌های مکانیک سیالات موجب کاهش خطای نتایج مدلسازی براساس داده‌های آنها خواهد شد. در یک مطالعه بر روی انواع روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشان داده است که با خطای کمتر از ۵ درصد و در حدود ۲ درصد در استفاده از یک بانک داده متشکل از داده‌های ۱۳۵ تست می توان این رهیافت را در مسئله تخمین میزان نشست ذرات آیروسل در ریه انسان بکار برد. راه حل ارائه شده یک حل کننده سریع است که امکان استفاده کاربران پزشکی و عمومی را فارغ از نیاز به دانش پیچیده شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی ممکن می سازد. همچنین بر خلاف روش‌های آماری بحث شده، براساس بانک داده حل ها قبلی و نیز

داده‌های تست های تجربی در مدل‌های آزمایشگاهی، امکان پاسخ‌دهی در حالات متنوع فراوانی را دارد.

۴- مدل‌سازی فازی ریه



شکل۲. مدلسازی فازی

۵- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا اهمیت مسئله مدلسازی جریان تنفسی و آیروسل های حامل ویروس بیان شد. در گام بعد دو روش عمده مدلسازی ریاضیاتی آن بررسی شد. روش‌های آماری و ارائه معادلات ساده جبری مبتنی بر داده‌های تجربی و آزمایشگاهی امکان ارائه اطلاعات و پیش بینی نشست ذرات در ناحیه های محلی دستگاه تنفسی را ندارند. همچنین برای هر حالات نیازمند مدلسازی و ارائه فرمول جدید هستند. روش مدلسازی با معادلات دیفرانسیل جزئی برآمده از فیزیک مسئله در دینامیک سیالات محاسباتی بهترین رهیافت کلی جهت انواع تحلیل این مسئله می‌باشد که آن نیز با محدودیت در زمان و ترم های پردازشی مواجه است و از سوی دیگر نیازمند دانش تخصصی بالایی است حال آنکه جهت برآورد پیش بینی ها در مسئله آلودگی به ذرات ویروس استنشاقی یا ذرات آلودگی هوا نیازمند حلگرهای سریع و مقرون به صرفه جهت بهره‌برداری افراد بدون دانش تخصصی در حوزه دینامیک سیالات محاسباتی است. در نهایت بعنوان یک نوآوری ارائه شده بیان شد که تنها راه حلی که امکان استفاده از تحقیقات جدا از هم انجام شده در یک حوزه مشخص از بایومکانیک مانند مسئله نشست ذرات آیروسل حاوی ویروس در ریه انسان را میسر می کند مدلسازی مبتنی بر داده‌ها است که علاوه بر ایجاد امکان بهره‌برداری از داده‌های نتایج پژوهش های قبلی برای شرایط جدید، اما نسبتا مشابه با شرایط تست شده قبلی، در کمترین زمان و با احتیاج کمتر به دانش تخصصی، پاسخی با دقت مشابه راه‌حل‌های دینامیک سیالات محاسباتی بدست می‌دهد. این روش امکان بهره‌برداری از قابلیت های هوش مصنوعی در شناسایی ریسک‌های حوزه سلامت را از شبیه‌سازی‌های فردی به شبیه‌سازی‌های جمعی نیز میسر می‌سازد.

مراجع

[1] Tavoosi J, Shirkhani M, Azizi A. Control engineering solutions during epidemics: A review. International Journal of Modelling, Identification and Control. 2021;39(2):97-106.

[2] Iranmehr H, Aazami R, Tavoosi J, Shirkhani M, Azizi AR, Mohammadzadeh A, Mosavi AH, Guo W. Modeling the price of emergency power transmission lines in the reserve market due to the influence of renewable energies. Frontiers in Energy Research. 2022 Jan 13;9:792418.

[3] Tavoosi J, Shirkhani M, Abdali A, Mohammadzadeh A, Nazari M, Mobayen S, Asad JH, Bartoszewicz A. A new general type-2 fuzzy predictive scheme for PID tuning. Applied Sciences. 2021 Nov 5;11(21):10392.

[4] Kumar D, Malviya R, Sharma PK. Corona virus: a review of COVID-19. EJMO. 2020 Mar 4;4(1):8-25.

[5] Tavoosi J, Shirkhani M, Azizi A, Din SU, Mohammadzadeh A, Mobayen S. A hybrid approach for fault location in power distributed networks: Impedance-based and machine learning technique. Electric Power Systems Research. 2022 Sep 1;210:108073.

[6] ایاسه, سینا. ارائه روشی نو جهت مدلسازی ریاضی زمانبندی کلاس های دانشگاهی با استفاده از منطق فازی. روش‌های محاسباتی در علوم مهندسی. ۲۰۲۳ Aug 21.

[7] Guo X, Shirkhani M, Ahmed EM. Machine-Learning-Based improved smith predictive control for MIMO processes. Mathematics. 2022 Oct 9;10(19):3696.

[8] Liu Y, Eckert CM, Earl C. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. Expert Systems with Applications. 2020 Dec 15;161:113738.

[9] Tavoosi J, Suratgar AA, Menhaj MB. Nonlinear system identification based on a self-organizing type-2 fuzzy RBFN. Engineering applications of artificial intelligence. 2016 Sep 1;54:26-38.

[10] Tavoosi J, Mohammadzadeh A, Pahlevanzadeh B, Kasmani MB, Band SS, Safdar R, Mosavi AH. A machine learning approach for active/reactive power control of grid-connected doubly-fed induction generators. Ain Shams Engineering Journal. 2022 Mar 1;13(2):101564.

[11] Tavoosi J, Suratgar AA, Menhaj MB. Stability analysis of recurrent type-2 TSK fuzzy systems with nonlinear consequent part. Neural Computing and Applications. 2017 Jan;28:47-56.