



Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>



Research Article

Providing an expert system with the help of Arithmetic meta-heuristic algorithm to diagnose the infectious disease of covid-19

Faezeh Ebrahimi^{1,*}, Alireza Azari moghaddam², Mohsen Nejad Khairullah³

1. Master's student, Allameh Mohaddes Nouri University
2. Assistant Professor, Computer Faculty, Maziar Higher Education Institute
3. Instructor, Computer Faculty, Allameh Mohaddes Nouri University

*Corresponding Author: ebrahimi.faezeh2022@gmail.com

PAPER INFO

Paper history:

Received: 02 August 2022
Revised: 25 November 2022
Accepted: 08 January 2023

Keywords:

Diagnosis,
infectious disease covid-19,
Sogno's fuzzy logic,
Arithmetic meta-heuristic
algorithm,
Forward chaining rule based.

ABSTRACT

The last two years have been the most critical and critical period of the Covid-19 pandemic. This disease has affected most aspects of life around the world. From a clinical point of view, several methods are available for early diagnosis of the disease, but the capabilities of these methods have been limited. As a result, many studies have been conducted to automatically diagnose the disease. Artificial intelligence has provided potential technical solutions to the medical community to make quick diagnosis based on clinical symptoms. In this research, the patient's clinical symptoms (fever, cough, sore throat, shortness of breath, weakness, sense of taste and smell, environment) are examined with the help of a questionnaire, then the input data is examined by one of rule based system or fuzzy system methods, in the fuzzy method with the help of arithmetic meta-heuristic algorithm. The optimized weight parameter is then applied to the data with the optimized weight fuzzy logic. At the end, the output will be shown as healthy person, weak corona, middle corona, high corona. This article is based on several databases, in which about 600 data have been completed by individuals through questionnaires, 2000 data have been published by the World Health Organization for corona patients, and about 400 data have been provided through hospital data. It was observed that in this system, the accuracy rate is equal to 98%, sensitivity is 100%, specificity is 98% and the F-score is 95%.

© 2023 Published by Semnan University Press.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2023.27986.2312>

How to cite this article:

Ebrahimi, F., Azari Moghaddam, A., & Nejad Khairullah, M. (2023). Providing an expert system with the help of Arithmetic meta-heuristic algorithm to diagnose the infectious disease of covid-19. *Journal of Modeling in Engineering*, 21(73), 47-61 doi: 10.22075/jme.2023.27986.2312

ارائه یک سیستم خبره به کمک الگوریتم فراابتکاری حسابی برای تشخیص بیماری عفونی کووید-۱۹

فائزه ابراهیمی^{۱*}، علی رضا آذری مقدم^۲ و محسن نژادخیرالله^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱ بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۴ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸</p> <p>واژگان کلیدی: تشخیص، بیماری عفونی کووید-۱۹، منطق فازی سوگنو، الگوریتم فراابتکاری حسابی، مبتنی بر قانون روبه جلو.</p>	<p>دو سال گذشته حیاتی‌ترین و بحرانی‌ترین دوره همه‌گیر بیماری کووید-۱۹ بوده است. این بیماری بر بیش‌تر جنبه‌های زندگی در سراسر جهان تأثیر گذاشته است. از دیدگاه بالینی، چندین روش برای تشخیص زودهنگام بیماری موجود می‌باشد، اما قابلیت این روش‌ها محدود بوده است. در نتیجه، مطالعات بسیاری برای تشخیص خودکار بیماری صورت گرفته است. هوش مصنوعی راه‌حل‌های فنی بالقوه‌ای را در اختیار جامعه پزشکی قرار داده تا بر اساس علائم بالینی تشخیص سریع صورت گیرد. در این پژوهش با کمک یک پرسشنامه علائم بالینی (تب، سرفه، گلودرد، تنگی نفس، ضعف، حس چشایی و بویایی، محیط بیمار بررسی شده، سپس داده‌های ورودی به یکی از روش‌های سیستم مبتنی بر قانون یا سیستم فازی مورد بررسی قرار می‌گیرد، در روش فازی با کمک الگوریتم فراابتکاری حسابی پارامتر وزن بهینه گردیده سپس منطق فازی با وزن بهینه شده برای داده‌ها بکار گرفته می‌شود. در پایان خروجی به یکی از صورت‌های فرد سالم، کرونا خفیف، کرونا متوسط، کرونا شدید نشان داده می‌شود. این مقاله بر روی چندین پایگاه داده که بترتیب حدود ۶۰۰ داده از طریق پرسشنامه توسط افراد تکمیل شده، ۲۰۰۰ داده که سازمان جهانی بهداشت برای بیماران کرونایی منتشر کرده و حدود ۴۰۰ داده که از طریق داده‌های بیمارستانی فراهم گردیده است. ملاحظه گردید در این سیستم میزان دقت برابر با ۹۸٪، حساسیت ۱۰۰٪، ویژگی ۹۸٪ و نمره اهمیت ۹۵٪ می‌باشد.</p>

۱- مقدمه

برای اولین بار در تاریخ ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ توسط سازمان بهداشت جهانی در چین گزارش شد و با وجود این که بیش از دو سال از ظهور این بیماری گذشته، اما همچنان تشخیص این بیماری به دلیل علائم مشترک بسیار زیاد با بیماری‌هایی چون سرماخوردگی مشکل می‌باشد [۲]. روی سطح ویروس کووید-۱۹ برآمدگی‌های تیزی دیده می‌شود که شبیه به تاج است و نام این ویروس از همین جا در زبان لاتین به معنای کووید-۱۹ نشأت می‌گیرد. در اکثر موارد، ویروس انسانی کووید-۱۹ باعث بروز

ویروس‌ها به سلول‌های زنده به عنوان میزبان نیاز دارند اجزای بدن ویروس با کمک تجهیزات سلول میزبان ساخته می‌شوند (اندامک‌ها سلول). ویروس‌ها انگل‌های درون سلول هستند که پس از حمله ویروس به سلول میزبان، ژنوم ویروس بر سلول میزبان تأثیر می‌گذارد و آن را برای انتقال مصنوعی بین ژنتیک ویروس و ژنتیک میزبان کنترل می‌کند [۱]. یکی از این ویروس‌ها، ویروس جدید کووید-۱۹ می‌باشد که

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ebrahimi.faezeh2022@gmail.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه محدث نوری

۲. استادیار، دانشکده کامپیوتر، موسسه آموزش عالی مازیار

۳. مربی، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علامه محدث نوری

این زمینه، بخش ۳ سیستم پیشنهادی ارائه شده، بخش ۴ شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده و بخش ۵ نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات بیان می‌گردد.

۲- مرور ادبیات

در [۱۲] نمودارها و مدل‌های یادگیری ماشین برای بیماران مبتلا به کووید-۱۹ با منطق فازی ارائه گردیده است. در ابتدا بکارگیری سیستم یادگیری تطبیقی سپس منطق فازی برای داده‌های اولیه براساس سیستم اطلاع رسانی و پیگیری صورت می‌گیرد. این روش دارای دقت ۸۱ تا ۹۷٪ می‌باشد.

در [۱۳] توسعه سیستم هوش مصنوعی برای تشخیص سریع کووید-۱۹ با دقت متخصصین رادیولوژیست با تجربه سیستم هوش مصنوعی ارائه شده است که دریافت داده‌های ورودی از طریق سیتی اسکن بیماران کرونایی صورت گرفته سپس بکارگیری شبکه عصبی عمیق کانولوشن برای تجزیه و تحلیل داده صورت گرفته و در آخر خروجی نمایش داده شده است. دقت این سیستم ۹۵٪، ویژگی ۹۵٪ و حساسیت برابر با ۹۴٪ می‌باشد.

در [۱۴] توسعه‌ی مدل شبکه عصبی کانولوشن (CNN) برای طبقه‌بندی نمونه‌های سیتی اسکن به کووید-۱۹، پنومونی ویروسی و عدم عفونت پیشنهاد شده است که دریافت داده‌های ورودی از سیتی اسکن تعدادی از بیماران صورت گرفته سپس بکارگیری شبکه عصبی عمیق کانولوشن انجام شده و در نهایت تشخیص صورت می‌گیرد. حساسیت این سیستم ۹۸٪ و ویژگی ۹۲٪ است.

در [۱۵] سیستمی با عنوان یک مدل ترکیبی مبتنی بر ویژگی‌های یادگیری عمیق برای تشخیص و طبقه‌بندی کووید-۱۹ با استفاده از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه ارائه شده است. در این سیستم مدل ترکیبی جدید با ویژگی‌های یادگیری عمیق استفاده شده و شامل سه فرآیند اصلی می‌باشد. از فیلتر گاوسی برای استخراج و طبقه‌بندی ویژگی استفاده می‌کند. این مدل مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشن (CNN) می‌باشد. در مدل پیشنهادی مقدار حساسیت ۹۳٪، دقت ۹۴٪ و امتیاز ۹۳٪ می‌باشد.

در [۱۶] تشخیص بیماری کووید-۱۹ بوسیله سیستم خبره فازی طراحی شده بر اساس ورودی خروجی ارائه گردیده است. که به ترتیب دریافت علائم بالینی، ادغام علائم بالینی مشترک به یک متغیر و بدست آوردن تابع عضویت و در

بیماری‌های خفیف تنفسی مانند سرماخوردگی می‌شود. درواقع، چهار نوع از ویروس‌های انسانی کووید-۱۹ باعث بروز ۱۰ تا ۳۰ درصد عفونت در قسمت فوقانی دستگاه تنفسی بزرگسالان می‌شود. زمانی که ویروس کووید-۱۹ حیوانی، بتواند بیماری را به انسان منتقل کند، نوع جدیدی از ویروس کووید-۱۹ ظاهر می‌شود که می‌تواند بیماری خطرناک و جدی را به وجود آورد که علت آن می‌تواند پایین بودن سیستم ایمنی بدن در برابر ویروس جدید باشد [۳، ۴].

در حدود ۸۰٪ موارد بیماران مبتلا به کووید-۱۹ بصورت بی علامت، علائم خفیف تا متوسط دارند و در حدود ۱۵٪ موارد مبتلایان با علائم شدید و نیاز به بستری مراجعه می‌کنند. در ۵٪ موارد شرایط بیمار بحرانی شده و ممکن است نیازمند بستری در (ICU) و مراقبت‌های ویژه باشد. از دست دادن حس بویایی و نیز حس چشایی از جمله علائمی هست که در بسیاری از مبتلایان گزارش شده است. از علائم دیگر می‌توان به علائم گوارشی نظیر بی اشتها، ضعف، بی حالی، سرفه، تب، گلودرد و تنگی نفس اشاره نمود [۵].

به اشتراک گذاری داده‌ها در مورد افراد آلوده، مزایای اپیدمیولوژیک بسیاری برای عموم و متخصصان پزشکی دارد. در گسترش شیوع بیماری‌های عفونی مانند کووید-۱۹، واکنش و پاسخ سریع بسیار ضروری است. با استفاده از ابزارها و سیستم‌های یکپارچه‌ی فناوری اطلاعات، امکان استفاده بهینه از منابع و پیگیری سریع بیماران وجود دارد [۶، ۷].

با توجه به قابلیت انتقال بسیار بالای اپیدمی کووید-۱۹، کاربرد فناوری‌های حوزه‌ی سلامت از راه دور مانند تله مدیسین به منظور رعایت فاصله‌ی اجتماعی ملموس تر بوده است [۸، ۹]. همچنین با توجه به مشابه بودن علائم کووید-۱۹ با سایر بیماری‌های تنفسی، سعی در ایجاد سیستم‌های غربالگری و تشخیص سریع به کمک هوش مصنوعی گردیده است. با استفاده از سیستم‌های خبره می‌توان سیستم‌هایی طراحی کرد که مفاهیم و اصطلاحات زبانی و غیر دقیق را مدل‌سازی کرد و از دانش افراد متخصص در طراحی سیستم خبره استفاده نمود و در نهایت به عنوان یک نرم‌افزار در اختیار پزشکان عمومی قرار داد [۱۰، ۱۱].

در ادامه در بخش ۲ مروری از تحقیقات پیشین انجام شده در

جدول ۱ - خلاصه ای از سیستم های هوش مصنوعی برای تشخیص کووید-۱۹

ردیف	عنوان	سال	مجموعه داده‌ها	روش	دقت	حساسیت	نمره اهمیت
۱	نمودارها و مدل‌های یادگیری ماشین برای بیماران مبتلا به کووید-۱۹ با منطق فازی [۱۲]	۲۰۲۰	اطلاعات آزمایشگاهی بیمار ۷۲۵ بیمار	منطق فازی	۸۱- ٪۹۷	-	-
۲	توسعه سیستم هوش مصنوعی برای تشخیص سریع کووید-۱۹ با دقت متخصصین رادیولوژیست با تجربه سیستم هوش مصنوعی [۱۳]	۲۰۲۰	سیتی اسکن تعدادی از بیماران	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۵	٪۹۴	-
۳	توسعه‌ی مدل شبکه عصبی کانولوشن (CNN) برای طبقه بندی نمونه‌های سیتی اسکن به کووید-۱۹، پنومونی ویروسی و عدم عفونت [۱۴]	۲۰۲۰	سیتی اسکن ۶۱۸ بیمار	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۸	٪۹۲	-
۴	یک مدل ترکیبی مبتنی بر ویژگی‌های یادگیری عمیق برای تشخیص و طبقه بندی کووید-۱۹ با استفاده از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه [۱۵]	۲۰۲۱	سیتی اسکن ۵۱۶ بیمار	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۴	٪۹۳	٪۹۳
۵	تشخیص بیماری کووید-۱۹ بوسیله سیستم خیره فازی طراحی شده بر اساس ورودی - خروجی [۱۶]	۲۰۲۱	اطلاعات آزمایشگاهی بیمار ۳۷۵ بیمار	فازی	٪۸۷	٪۹۵	-
۶	یک مدل CNN برای تشخیص بیماران کووید-۱۹ از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه [۱۷]	۲۰۲۱	سیتی اسکن ۱۶۵ بیمار	شبکه عصبی CNN	٪۹۷	-	-
۷	سیستم‌های خیره فازی برای پیش بینی پذیرش ICU در بیماران مبتلا به کووید-۱۹ [۱۸]	۲۰۲۲	استفاده از یک مجموعه داده بیمارستانی به تعداد ۵۶۶۶۰۲	فازی	٪۹۱	-	٪۹۵
۸	تصاویر فازی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص و شناسایی کووید-۱۹ [۱۹]	۲۰۲۲	سیتی اسکن ۵۸۸۸ بیمار	ادغام شبکه عصبی کانولوشن با سیستم فازی	۹۵٪	-	-
۹	یادگیری ماشینی قابل توضیح برای طبقه بندی پنومونی کووید-۱۹ با استخراج ویژگی‌های مبتنی بر بافت در رادیوگرافی قفسه سینه [۲۰]	۲۰۲۲	سیتی اسکن ۵۲۲۲ بیمار	استفاده از XGBoost و جنگل تصادفی	٪۸۲	-	-

شناسایی بیمار را انجام می‌دهد. خروجی آن بعنوان ورودی در استدلال فازی نوع ۲ استفاده می‌گردد. در پایان خروجی فازی همان نتایج تشخیص بیماری می‌باشد. این سیستم دارای دقت ۹۱٪ و امتیاز ۹۵٪ است.

در [۱۹] از یک شبکه عصبی کانولوشن فازی با انتقال چند ورودی برای شناسایی نمونه‌های کووید-۱۹ از طریق اشعه- ایکس استفاده شده است. از تصاویر اشعه ایکس، چهار شبکه عصبی برای پیش بینی احتمالی و در نهایت خروجی حاصل می‌گردد. مقدار دقت این سیستم ۹۵٪ می‌باشد.

در [۱۷]، یک مدل CNN برای تشخیص بیماران کووید-۱۹ از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه پیشنهاد شده است. این مدل با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای دو مدل دیگر CNN ارزیابی می‌شود. مدل پیشنهادی با دقت ۹۷٪ عمل می‌کند. در [۱۸] سیستم‌های خیره فازی برای پیش بینی پذیرش ICU در بیماران مبتلا به کووید-۱۹ پیشنهاد شده است که در ابتدا دریافت داده‌های ورودی و دسته بندی این داده‌ها صورت گرفته سپس استدلال فازی نوع ۱ انجام می‌گیرد.

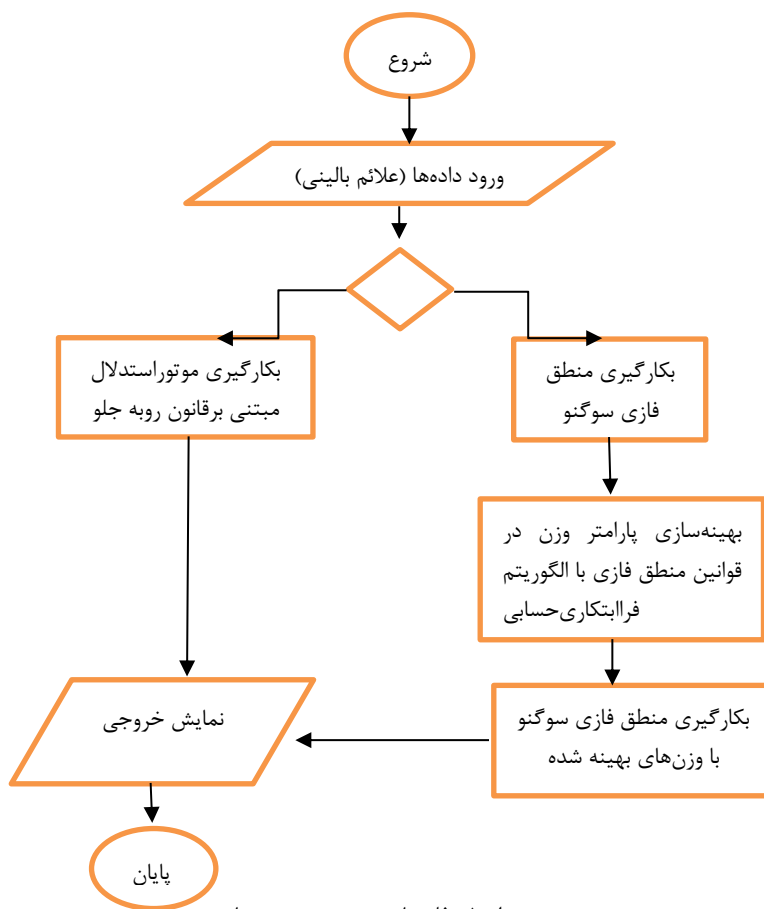
بدست آمده سپس یکی از دو حالت (فازی، مبتنی بر قانون) انتخاب می‌شود. در سیستم خبره فازی با کمک الگوریتم فراابتکاری حسابی پارامتر وزن در قوانین فازی بهینه شده سپس داده‌های ورودی با منطق فازی بهینه شده محاسبه می‌گردد و خروجی نمایش داده می‌شود. در سیستم خبره مبتنی بر قانون رو به جلو پس از دریافت داده‌های ورودی باید داده‌ها با قوانینی که برای سیستم در نظر گرفته شده بررسی و خروجی مورد نظر حاصل گردد.

در نمودار ۱ فلوچارت سیستم پیشنهادی نمایش داده شده است.

در [۲۰] از ۲۶۱۱ تصویر اشعه ایکس قفسه سینه از بیماران کرونایی و ۲۶۱۱ تصویر از قفسه سینه بیماران غیرکرونایی استفاده می‌کنیم. درگام بعدی داده‌ها را نرمال کرده و ویژگی‌ها استخراج می‌شوند. با حذف ویژگی تکراری و بهینه‌سازی مدل‌های درخت با استفاده از جنگل تصادفی خروجی حاصل می‌گردد. دقت این مدل ۸۲٪ می‌باشد. در جدول ۱ مقایسه روش‌های فوق بطور خلاصه نمایش داده شده است.

۳-روش پیشنهادی

در این پژوهش ابتدا علائم بالینی بیماران (داده‌های ورودی)



نمودار ۱- فلوچارت سیستم پیشنهادی

برای مدل‌سازی عدم قطعیت، طرز تفکر انسان، استدلال و فرآیند ادراک ارائه می‌دهد. سیستم‌های فازی اولین بار توسط لطفی‌زاده معرفی شد یک سیستم خبره فازی به سادگی یک سیستم خبره‌ای است که از مجموعه‌ای از توابع و قوانین عضویت فازی استفاده می‌کند. مقدمه (فرض قاعده) توصیف می‌کند که قانون تا چه حدی اعمال می‌شود، در حالی که نتیجه قاعده یک تابع عضویت را به

۳-۱-منطق فازی

دنیای اطلاعات با عدم قطعیت و عدم دقت احاطه شده است. فرآیند استدلال انسانی می‌تواند مفاهیم مبهم، نامشخص را به شیوه‌ای مناسب اداره کند. معمولاً نمی‌توان تفکر، استدلال و فرآیند ادراک بشر را به طور دقیق بیان کرد. این نوع تجربیات را به ندرت می‌توان با استفاده از نظریه آماری یا احتمال بیان کرد. منطق فازی چارچوبی

فرآیندهای بهبود خود را (فرایند بهینه‌سازی) با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های نامزد تولید شده به‌طور تصادفی آغاز می‌کند. این مجموعه از راه‌حل‌های تولید شده توسط مجموعه‌ای از قوانین بهینه‌سازی به صورت تدریجی بهبود می‌یابد و توسط یک تابع هدف خاص به صورت تکراری ارزیابی می‌شود. فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم فراابتکاری حسابی از دو مرحله اصلی تشکیل شده است: اکتشاف در مقابل بهره‌برداری. اولی به پوشش گسترده فضای جستجو با استفاده از عوامل جستجوی الگوریتم فراابتکاری حسابی برای اجتناب از راه‌حل‌های محلی اشاره دارد. مورد دوم دقت بهبود راه‌حل‌های به دست آمده در مرحله اکتشاف است [۲۴].

۳-۴- موتور استدلال مبتنی بر قانون

سیستم خبره مبتنی بر قانون دارای اطلاعات حوزه‌ای است که در قالب قوانین از یک متخصص کدگذاری شده است و این اطلاعات را در قالب قوانین مانند IF- THEN ارائه می‌دهد. در یک سیستم خبره مبتنی بر قوانین، یک پایگاه دانش معمولاً بر اساس قوانین IF- THEN ذخیره می‌شود که می‌تواند برای نتیجه‌گیری استفاده شود. زنجیره عقب و زنجیر جلو دو نوع از استراتژی‌های موتور استنتاج مبتنی بر قانون هستند [۲۵].

۳-۵- زنجیره‌های رو به جلو

سیستم ابتدا داده‌هایی را جمع‌آوری می‌کند که هنگام مشخص شدن راه‌حل مورد استفاده قرار می‌گیرد. زنجیره‌ای رو به جلو مبتنی بر داده است. بنابراین زمانی استفاده می‌شود که نتیجه خروجی مشخص نباشد [۲۵].

۴- شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده

در این پژوهش با طرح پرسشنامه با عنوان غربالگری بیماری کووید-۱۹ برای قشری از جامعه که شامل افراد سالم و بیمار بودند شروع نمودیم تا بتوانیم با بررسی و تحلیل بین داده‌ها به نتایج مطلوب برای تشخیص این بیماری عفونی برسیم. برای این کار ابتدا از ۷ ورودی که به ترتیب (تب، سرفه خشک، ضعف، تنگی نفس، گلودرد، داشتن حس چشایی و بویایی و محیط (که به مکان آلوده یا تماس با افراد آلوده اشاره دارد) هستند استفاده گردیده است خروجی مورد نظر به ۴ حالت که به ترتیب (فرد سالم، فرد بیمار مبتلا به کروناخفیف، کرونا متوسط، کرونا شدید) دسته‌بندی شده است. چون داده‌ها بصورت توصیفی در پرسشنامه مطرح شده است برای تبدیل به داده‌های عددی باید بطور فرضی

هر یک یا چند متغیر خروجی اختصاص می‌دهد [۲۱]. سیستم استنتاج فازی به طور کلی از اجزاء زیر ساخته شده است:

۱. فازی ساز

۲. موتور استنتاج فازی

۳. دفازی ساز

روند تبدیل متغیرهای صریح به متغیرهای زبانی را فازی سازی می‌گویند. موتور استنتاج با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج، قوانین را ارزیابی و استنتاج می‌کند و پس از تجمیع قوانین خروجی توسط واحد دفازی‌ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود. انواع روش‌های دفازی‌سازی شامل مرکز ثقل ناحیه، نیم‌ساز ناحیه، کوچکترین ماکزیمم، بیشترین ماکزیمم، میانگین ماکزیمم، میانگین وزنی، مجموع وزنی می‌باشد [۲۲].

۳-۲- الگوریتم استنتاج تاکاگی سوگنو

سیستم استنتاج تاکاگی سوگنو، توسط تاکاگی و میشیو سوگنو در سال ۱۹۸۵ به منظور توسعه یک رویکرد سیستماتیک برای تولید قوانین فازی ارائه شد، این سیستم استنتاج بیشتر در سیستم‌های کنترلی و در زمینه‌هایی که نیاز به محاسبات ریاضی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی الگوریتم استنتاج سوگنو از یک چند جمله‌ای مرتبه اول از متغیرهای ورودی به عنوان نتیجه قانون استفاده می‌کند و روش دفازی‌سازی در آن از نوع روش‌های دفازی‌سازی WS, WA می‌باشد، همچنین سیستم استنتاج سوگنو به صورت MISO پیاده‌سازی می‌شود و نمی‌تواند به صورت MIMO پیاده‌سازی شود. نتایج قانون در سیستم استنتاج سوگنو به صورت صریح و خطی می‌باشد [۲۳].

در رابطه ۱ نمونه‌ای از این قانون را مشاهده می‌کنید.

$$R_j: \text{IF } x_1 \text{ is } A_{j1} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_{j2} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{jn} \\ \text{THEN } Y = B_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (j = 1, 2, \dots, R) \quad (1)$$

که n تعداد متغیرهای ورودی، R تعداد قواعد فازی، A_{jn} مجموعه فازی متناظر با n امین متغیر ورودی برای j امین قانون فازی، B_j یک تابع ثابت از x_n است.

۳-۳- الگوریتم فراابتکاری حسابی

این الگوریتم بر مبنای ۴ عمل اصلی ریاضی (جمع، تفریق، ضرب، تقسیم) می‌باشد. این الگوریتم مبتنی بر جمعیت،

- جز تنگی نفس و سرفه یک یا چند مورد از علائم دیگر را می‌تواند داشته باشد ولی حس چشایی و بویایی خود را از دست نداده است.
- ❖ فرد بیمار با کرونا خفیف:
- جز تنگی نفس و سرفه یک یا چند مورد از علائم دیگر را می‌تواند داشته باشد ولی حس چشایی و بویایی خود را از دست داده است و به محیط آلوده (مکان آلوده یا افراد آلوده به کرونا) رفته است.
- ❖ فرد بیمار با کرونا متوسط:
- فرد دارای سرفه‌های حاد می‌باشد ولی تنگی نفس حاد ندارد و به محیط آلوده سفر کرده است.
- همچنین می‌تواند یک یا چند مورد از علائم دیگر را داشته باشد.
- ❖ فرد بیمار با کرونا شدید:

فرد دارای تنگی نفس حاد می‌باشد و به محیط آلوده سفر کرده است. همچنین می‌تواند یک یا چند مورد از علائم دیگر را داشته باشد.

تعداد این قوانین ۴ مورد است و بصورت زیر می‌باشد:

- IF (Cough is NO) and (Shortness_of_breath is NO) and (Sense_of_taste_and_smell is YES) then (Diagnosis is HEALTHY).
- IF (Cough is NO) and (Shortness_of_breath is NO) and (Sense_of_taste_and_smell is NO) and (Environment is YES) then (Diagnosis is WEAK_CORONA)
- If (Cough is HIGH) and (Shortness_of_breath is not HIGH) and (Environment is YES) then (Diagnosis is MIDDLE_CORONA)
- If (Shortness_of_breath is HIGH) and (Environment is YES) then (Diagnosis is HIGH_CORONA)

در شکل (۲) توابع عضویت ورودی‌ها در سیستم فازی را مشاهده می‌کنید. در شکل (۳) نمودار ارزیابی عملکرد چند نمونه از ورودی‌ها نسبت به یکدیگر نمایش داده می‌شود. در ادامه با کمک الگوریتم فراابتکاری حسابی پارامتر وزن‌ها که بصورت پیش فرض یک در نظر گرفته شده بهینه گردیده و به قوانین فازی داده می‌شود. در شکل (۴) خروجی بهینه شده برای متغیر وزن‌ها توسط الگوریتم فراابتکاری حسابی نمایش داده شده است.

حالت‌ها را مقداردهی کنیم که برای نرمال بودن داده‌ها از عددهای بین بازه [0-1] استفاده گردیده است. در ادامه با یکی از دو روش سیستم خبره که شامل موتور استدلال مبتنی بر قانون و موتور استدلال فازی می‌باشد به بررسی داده‌های ورودی می‌پردازیم. این کار با کمک نرم‌افزار متلب، منطق فازی سوگنو، الگوریتم فراابتکاری حسابی و سیستم خبره مبتنی بر قانون روبه جلو صورت گرفته است. از بین داده‌های جمع‌آوری شده ۸۰٪ داده‌ها برای آموزش و ۲۰٪ داده برای تست استفاده گردیده است. همچنین ارزیابی بر اساس ماتریس آشفتگی و معیارهای چون حساسیت، ویژگی، دقت، نمره اهمیت محاسبه گردیده است. در شکل (۱) پرسشنامه غربالگری این بیماری نمایش داده شده است.

پرسشنامه غربالگری بیماری کووید-۱۹

تب: کمتر از ۳۸ درجه بیشتر از ۳۸ درجه

سرفه خشک: خیر تاحدودی زیاد

احساس خستگی و بی‌حالی: خیر بله

تنگی نفس: خیر تاحدودی زیاد

گلودرد: خیر بله

داشتن حس بویایی و چشایی: بله خیر

محیط (مکان آلوده/ افراد آلوده به ویروس): بله خیر

نتیجه: سالم کرونا خفیف کرونا متوسط کرونا شدید

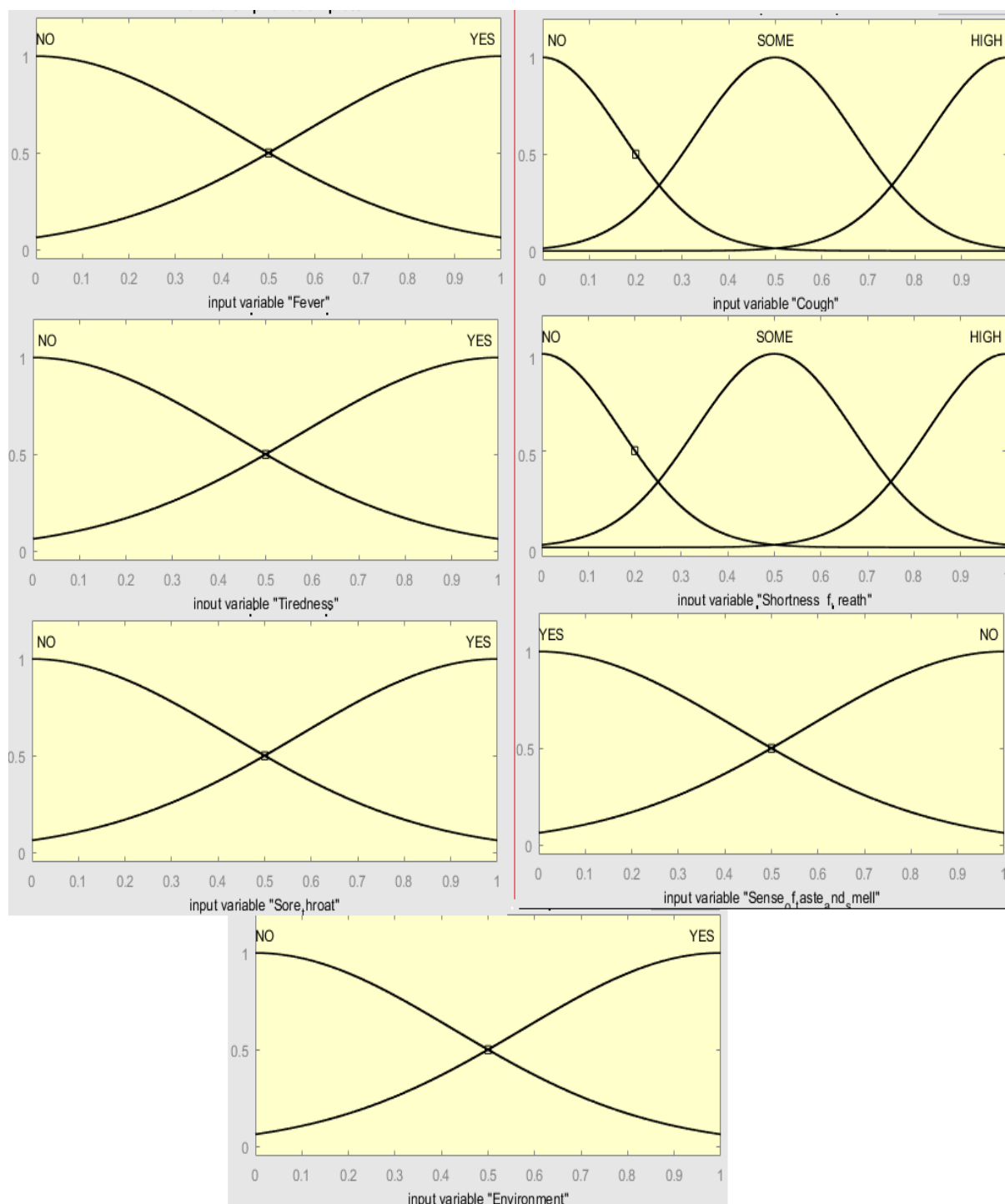
شکل ۱- پرسشنامه غربالگری بیماری کووید-۱۹

۱-۴- سیستم فازی

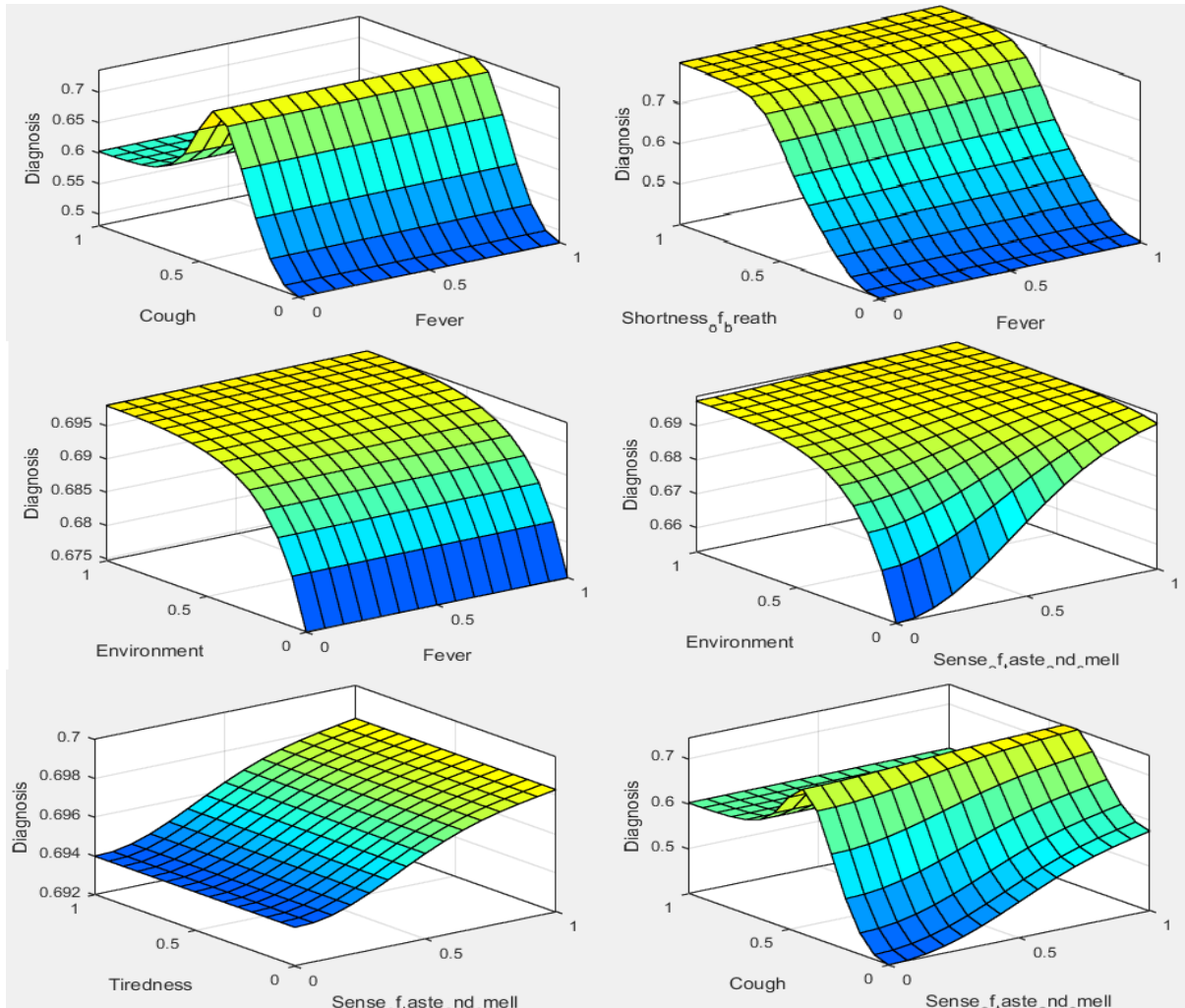
برای طراحی منطق فازی سوگنواز ۸۰٪ داده آموزش که از طریق علائم بالینی در پرسشنامه بدست آمده استفاده نموده و قوانین مرتبط به ۴ حالت خروجی را بدست می‌آوریم. در این مقاله از توابع عضویت گوسی استفاده شده است. قوانین فازی بصورت اگر و آنگاه در بخش پایگاه قواعد استفاده شده است. که شرح خلاصه این قواعد بصورت زیر می‌باشد:

❖ فرد سالم:

○ هیچ علامتی از بیماری را نداشته باشد.



شکل ۲ - توابع عضویت ورودی



شکل ۳ - نمودار ارزیابی عملکرد ورودی‌ها نسبت به یکدیگر

```

Command Window
At iteration 500 the best solution fitness is 0.5
At iteration 550 the best solution fitness is 0.5
At iteration 600 the best solution fitness is 0.38822
At iteration 650 the best solution fitness is 0.38822
At iteration 700 the best solution fitness is 0.38822
At iteration 750 the best solution fitness is 0.38821
At iteration 800 the best solution fitness is 0.38821
At iteration 850 the best solution fitness is 0.38821
At iteration 900 the best solution fitness is 0.38820
At iteration 950 the best solution fitness is 0.38820
At iteration 1000 the best solution fitness is 0.38820
The best-obtained solution by Math Optimizer is : 0.0096595
The best optimal value of the objective function found by Math Optimizer is : 0.38820
fx >>
    
```

شکل ۴ - بهترین مقدار وزن از طریق الگوریتم فراابتکاری حسابی

بویایی و محیط همانند ورودی تب دو حالت بله و خیر دارند. ورودی‌های سرفه و تنگی نفس به سه حالت خیر، تاحدودی، شدید در نظر گرفته می‌شوند.

در این جدول علائم بالینی فرد به شرح زیر است : فرد علائم بالینی تب را ندارد، تا حدودی سرفه دارد، ضعفی

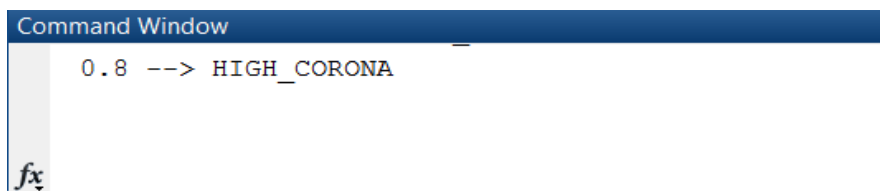
برای نمونه علائم بالینی یک فرد که پرسشنامه غربالگری را پر کرده است به شرح جدول ۲ است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید تب بعنوان اولین ورودی در علائم بالینی مطرح شده که به دو صورت بله و خیر بیان می‌گردد، ورودی‌هایی چون ضعف، گلودرد، داشتن حس چشایی و

از روش‌های نرمال‌سازی، داده‌ها نرمال شده باشند. با توجه به مطالب بیان شده برای ورودی‌های تب، ضعف، گلودرد، حس چشایی و بویایی و محیط دوحالت بصورت اعداد ۰ و ۱ در نظر گرفته شده و برای ورودی‌های تنگی نفس و سرفه سه حالت ۰، ۰.۵، ۱ در نظر گرفته شده است. با توجه به این داده‌ها خروجی حاصل از منطق فازی بصورت شکل (۵) می‌باشد. این خروجی از طریق کدنویسی در محیط نرم‌افزاری متلب بدست آمده است.

در او مشاهده نمی‌شود، تنگی نفس حاد دارد، هیچ نشانی از گلودرد در او وجود ندارد، حس چشایی و بویایی خود را از دست داده است و به محیط (مکان یا افراد آلوده به این ویروس) رفته است. چون این داده‌ها بصورت توصیفی بیان گردیده برای محاسبه در سیستم پیشنهادی بطور فرضی برای هر ورودی با توجه به تعداد حالت‌ها مقادیر عددی بین بازه صفر تا یک در نظر گرفته شده است. دلیل استفاده از این بازه برای نرمال‌سازی داده بوده تا بدون استفاده

جدول ۲ - علائم بالینی یک فرد از پرسشنامه غربالگری

علائم بالینی	تب	سرفه	ضعف	تنگی نفس	گلودرد	حس چشایی و بویایی	محیط
مقادیر	خیر	تاحدودی	خیر	زیاد	خیر	خیر	بله



شکل ۵- خروجی حاصل از تشخیص سیستم فازی

قوانین حاصل از استنتاج رو به جلو بصورت زیر است:

1. If (Shortness_of_breath is HIGH) then (Flag0 IS YES).
2. If (Flag0 is YES) and (Environment is YES) then (Diagnosis is HIGH_CORONA).
3. If (Cough is HIGH) and (Shortness_of_breath is Not HIGH) then (Flag1 IS YES).
4. If (Flag1 is YES) and (Environment is YES) then (Diagnosis is MIDDLE_CORONA).
5. If (Sense_of_taste_and_smell is NO) then (Flag2 IS YES).
6. If (Flag2 is YES) and (Environment is YES) and (Shortness_of_breath is NO) and (Cough is NO) then (Diagnosis is WEAK_CORONA).
7. If (Sense_of_taste_and_smell is YES) and (Shortness_of_breath is NO) and (Cough is NO) then (Diagnosis is HEALTHY).

برای نمونه علائم بالینی یک فرد که پرسشنامه غربالگری را پر کرده است به شرح جدول ۳ است.

خروجی حاصل از این سیستم همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شده است به ۴ حالت (سالم، کرونا خفیف، کرونا متوسط، کرونا شدید) می‌باشد. این خروجی‌ها بر اساس توصیفی می‌باشند در نتیجه برای محاسبه در سیستم خبره باید بصورت عددهای فرضی در نظر گرفته شوند برای این کار برای ۴ حالت فوق اعداد ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید مقدار خروجی برابر با ۰.۸ می‌باشد و این مقدار نشان دهنده فرد مبتلا به ویروس کووید-۱۹ نوع شدید است. این روند برای همه داده‌ها صورت گرفته و خروجی حاصل گردیده است.

۴-۲- سیستم خبره مبتنی بر قانون رو به جلو

در طراحی سیستم خبره مبتنی بر قانون دو شیوه وجود دارد. در این تجزیه و تحلیل از روش استنتاج رو به جلو استفاده شده است؛ یعنی با ورود داده‌ها بعنوان ورودی باید سیستم خبره با کمک قوانینی که از طریق داده‌های آموزش بدست آمده خروجی موردنظر را تشخیص دهد. خلاصه‌ای از

جدول ۳- ورودی یک فرد از پرسشنامه غربالگری

علائم بالینی	تب	سرفه	ضعف	تنگی نفس	گلودرد	حس چشایی و بویایی	محیط
مقادیر	خیر	خیر	خیر	خیر	بله	بله	بله

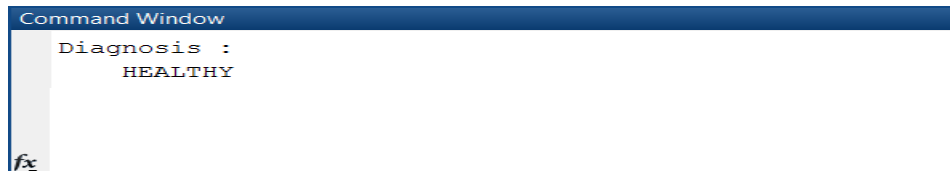
توصیف ورودی‌ها همانند توضیحات که در بخش قبل برای منطبق فازی داده شده می‌باشد. در این جدول علائم بالینی فرد به شرح زیر است:

فرد علائم بالینی تب را ندارد، سرفه ندارد، ضعفی در او مشاهده نمی‌شود، تنگی نفس ندارد، گلودرد در او مشاهده گردیده است، حس چشایی و بویایی خود را از دست نداده است و به محیط (مکان یا افراد آلوده به این ویروس) رفته است. برای محاسبه در سیستم پیشنهادی بطور فرضی برای هر ورودی باتوجه به تعداد حالت‌ها تعدادی قوانین در نظر گرفته شده است که این کدنویسی در محیط متلب صورت

گرفته است.

در شکل (۶) خروجی حاصل از این پرسشنامه با کمک موتور استدلال مبتنی بر قانون رو به جلو شرح داده شده است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌کنید فرد مورد نظر با این علائم فرد سالمی می‌باشد.

این خروجی با توجه به قوانین که در بالا بیان گردیده حاصل شده است. در ادامه ماتریس آشفتگی سیستم پیشنهادی در جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. در جدول ۶ مقادیر بدست آمده برای معیارهای ارزیابی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶- خروجی حاصل از تشخیص سیستم مبتنی بر قانون

جدول ۴ - ماتریس آشفتگی

	افراد مبتلا به کرونا متوسط	افراد مبتلا به کرونا خفیف	افراد سالم	برچسب‌های پیش بینی شده / برچسب‌های واقعی
P	FN	FN	TP	افراد سالم
N	FN	TN	FP	افراد مبتلا به کرونا خفیف
N	FN	TN	FP	افراد مبتلا به کرونا متوسط
N	TN	FN	FP	افراد مبتلا به کرونا شدید
ALL	N'	N'	P'	

جدول ۵- مقادیر ماتریس آشفتگی برای ۶۰۰ داده جمع آوری شده

	افراد مبتلا به کرونا متوسط	افراد مبتلا به کرونا خفیف	افراد سالم	برچسب‌های پیش بینی شده / برچسب‌های واقعی
۱۸	۰	۰	۱۸	افراد سالم
۲۲	۰	۲۰	۲	افراد مبتلا به کرونا خفیف
۳۶	۳۶	۰	۰	افراد مبتلا به کرونا متوسط
۲۴	۰	۰	۰	افراد مبتلا به کرونا شدید
۱۰۰	۲۴	۲۰	۲۰	کل

جدول ۶ - معیارهای ارزیابی

	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	Recall	F-score
	(TP+TN)/ALL	TP/P	TN/N	TP/(TP+FP)	TP/(TP+FN)	2* Precision* Recall / Precision+ Recall
سیستم پیشنهادی	0.98	1	0.98	0.9	1	0.95

با توجه به جدول ۶ حال می‌خواهیم سیستم پیشنهادی را همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌کنید سیستم مورد نظر دارای دقت بهتری نسبت به سیستم‌های دیگر می‌باشد. با سیستم‌های دیگر که قبلاً به کار گرفته شده‌اند مقایسه کنیم.

جدول ۷ - مقایسه سیستم پیشنهادی با سیستم‌های هوش مصنوعی برای تشخیص کووید-۱۹

ردیف	عنوان	سال	مجموعه داده‌ها	روش	دقت	حساسیت	نمره اهمیت
۱	سیستم پیشنهادی	۲۰۲۲	۴۰۰ داده بیمارستانی، ۶۰۰ داده آزمایشگاهی، ۲۰۰۰ داده منتشر شده از سازمان بهداشت جهانی	فازی سوگنو مبتنی بر قانون روبه جلو	٪۹۸	٪۱۰۰	٪۹۵
۲	نمودارها و مدل‌های یادگیری ماشین برای بیماران مبتلا به کووید-۱۹ با منطق فازی [۱۲]	۲۰۲۰	اطلاعات آزمایشگاهی ۷۲۵ بیمار	منطق فازی	۸۱-٪۹۷	-	-
۳	توسعه سیستم هوش مصنوعی برای تشخیص سریع کووید-۱۹ با دقت متخصصین رادیولوژیست با تجربه سیستم هوش مصنوعی [۱۳]	۲۰۲۰	سیتی اسکن تعدادی از بیماران	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۵	٪۹۴	-
۴	توسعه‌ی مدل شبکه‌عصبی کانولوشن (CNN) برای طبقه‌بندی نمونه‌های سیتی اسکن به کووید-۱۹، پنومونی و پروسی و عدم عفونت [۱۴]	۲۰۲۰	سیتی اسکن ۶۱۸ بیمار	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۸	٪۹۲	-
۵	یک مدل ترکیبی مبتنی بر ویژگی‌های یادگیری عمیق برای تشخیص و طبقه‌بندی کووید-۱۹ با استفاده از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه [۱۵]	۲۰۲۱	سیتی اسکن ۵۱۶ بیمار	شبکه عصبی کانولوشن	٪۹۴	٪۹۳	٪۹۳
۶	تشخیص بیماری کووید-۱۹ بوسیله سیستم خبره فازی طراحی شده بر اساس ورودی - خروجی [۱۶]	۲۰۲۱	اطلاعات آزمایشگاهی ۳۷۵ بیمار	فازی	٪۸۷	٪۹۵	-

۷	یک مدل CNN برای تشخیص بیماران کووید-۱۹ از تصاویر اشعه ایکس قفسه سینه [۱۷]	۲۰۲۱	سیتی اسکن ۱۶۵ بیمار	شبکه عصبی CNN	%۹۷	-	-
۸	سیستم‌های خبره فازی برای پیش‌بینی پذیرش ICU در بیماران مبتلا به کووید-۱۹ [۱۸]	۲۰۲۲	استفاده از یک مجموعه داده بیمارستانی به تعداد ۵۶۶۶۰۲	فازی	%۹۱	-	%۹۵
۹	تصاویر فازی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص و شناسایی کووید-۱۹ [۱۹]	۲۰۲۲	سیتی اسکن ۵۸۸۸ بیمار	ادغام شبکه عصبی کانولوشن با سیستم فازی	%۹۵	-	-
۱۰	یادگیری ماشینی قابل توضیح برای طبقه‌بندی پنومونی کووید-۱۹ با استخراج ویژگی‌های مبتنی بر بافت در رادیوگرافی قفسه سینه [۲۰]	۲۰۲۲	سیتی اسکن ۵۲۲۲ بیمار	استفاده از XGBoost و جنگل تصادفی	%۸۲	-	-

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

همزمان با اپیدمی کووید-۱۹ پژوهش‌های فراوانی در زمینه‌ی تسهیل و تسریع تشخیص بیماری، ایجاد واکسن و درمان‌های احتمالی و درک تأثیرات اجتماعی - اقتصادی این بیماری صورت گرفته است. فناوری‌های نوین مانند سلامت از راه دور، سلامت دیجیتال، واقعیت مجازی، سیستم‌های خبره و هوش مصنوعی در پیشرفت و موفقیت علوم پزشکی و مدیریت بیماری‌های عفونی و اپیدمی‌ها مانند MERS, SARS موثر بوده‌اند.

سیستم پیشنهادی قابل استفاده در تشخیص بیماری کووید-۱۹ در دنیای واقعی است زیرا در محیط نرم‌افزار متلب با داده‌های واقعی تست گردیده است. برای این کار ابتدا یک پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها صورت گرفته سپس قوانینی برای منطق فازی و سیستم خبره روبه جلو بدست آمده و با کمک الگوریتم فراابتکاری حسابی پارامتر وزن‌ها در قوانین فازی بهینه می‌گردد. سپس خروجی حاصل می‌گردد. ملاحظه گردید که در سیستم مورد نظر میزان دقت %۹۸، حساسیت %۱۰۰، ویژگی برابر %۹۸ و نمره اهمیت برابر با %۹۵ می‌باشد.

مزیت سیستم پیشنهادی:

۱. به پزشکان و افراد کمک می‌کند تا بدون از دست دادن ثانی‌های علائم را تشخیص داده و درمان شروع شود.

۲. پایگاه دانش از داده‌های که در دنیای واقعی رخ داده تشکیل شده است؛ در نتیجه سیستمی با کارایی و کیفیت مناسب است.
۳. این نوع سیستم خبره نه تنها ویروس را زودتر تشخیص می‌دهد بلکه حجم کار را برای کارکنان خط مقدم در زمینه پزشکی برای تشخیص بیماران بالقوه نیز کاهش می‌دهد.
۴. با تشخیص سریع‌تر ویروس، مرگ و میر کمتری در بین بیماران کووید-۱۹ وجود خواهد داشت و تعداد بیشتری از بیماران با سرعت بهبود می‌یابند؛ زیرا تشخیص زود هنگام ویروس میزان بهبودی را در بین بیماران افزایش می‌دهد.

ضعف سیستم پیشنهادی:

۱. این مجموعه داده در یک بازه زمانی تهیه شده است؛ در نتیجه سیستم فقط با این داده‌ها کامل نیست. زیرا این بیماری دارای جهش‌های مختلفی بوده و در هر جهش علائم مختلفی داشته است.
۲. سیستم علائم بالینی بیمار را در نظر گرفته است. در صورتی که برای تشخیص دقیق این بیماری به اطلاعات سیتی اسکن هم نیاز است.
۳. اگرچه الگوریتم فراابتکاری حسابی در بهینه‌سازی پارامتر وزن در قوانین فازی مناسب بوده اما به اندازه لازم پارامتر مورد نظر را بهینه نمی‌کند.

پیشنهادات:

۵. بکارگیری روش‌های طبقه‌بندی در تشخیص

بیماری

اگر این پیشنهادها در سیستم صورت گیرد استفاده از این سیستم قابل اعتمادتر و کم‌نقص‌تر می‌گردد.

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم می‌دانیم از آقای دکتر بابک نیک‌خواهان که در این پژوهش با ما همکاری صمیمانه‌ای داشتند تقدیر و تشکر نماییم.

۱. بهینه‌کردن پارامترهای منطق فازی با کمک

الگوریتم‌های فراابتکاری نوین.

۲. ایجاد منطق فازی با کمک الگوریتم فراابتکاری.

۳. استفاده از روش منطق فازی ممدانی در تشخیص

بیماری.

۴. به کارگیری شبکه‌عصبی-فازی برای تشخیص

بیماری.

مراجع

- [1] C. Calabrese, E. Kirchner, and L. H. Calabrese, "Long COVID and rheumatology: Clinical, diagnostic, and therapeutic implications," *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, p. 101794, 2022.
- [2] R. Islam, E. Abdel-Raheem, and M. Tarique, "A study of using cough sounds and deep neural networks for the early detection of COVID-19," *Biomedical Engineering Advances*, vol. 3, p. 100025, 2022.
- [3] T. A. Soomro, L. Zheng, A. J. Afifi, A. Ali, M. Yin, and J. Gao, "Artificial intelligence (AI) for medical imaging to combat coronavirus disease (COVID-19): A detailed review with direction for future research," *Artificial Intelligence Review*, vol. 55, no. 2, pp. 1409-1439, 2022.
- [4] B. Alsaaidah, M. d. R. Al-Hadidi, H. Al-Nsour, R. Masadeh, and N. AlZubi, "Comprehensive Survey of Machine Learning Systems for COVID-19 Detection," *Journal of Imaging*, vol. 8, no. 10, p. 267, 2022.
- [5] M. Ahmed, A. Rahman, M. Farooqui, F. Alamoudi, R. Baageel, and A. Alqarni, "Early Identification of COVID-19 Using Dynamic Fuzzy Rule Based System," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, pp. 805-812, 2021.
- [6] Z. Kou, L. Shang, Y. Zhang, Z. Yue, H. Zeng, and D. Wang, "Crowd, Expert & AI: A Human-AI Interactive Approach Towards Natural Language Explanation Based COVID-19 Misinformation Detection," in *Proc. Int. Joint Conf. Artif. Intell. (IJCAI)*, 2022, pp. 5087-5093.
- [7] V. V. Khanna, K. Chadaga, N. Sampathila, S. Prabhu, R. Chadaga, and S. Umakanth, "Diagnosing COVID-19 using artificial intelligence: a comprehensive review," *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, vol. 11, no. 1, pp. 1-23, 2022.
- [8] Y. Peng, E. Liu, S. Peng, Q. Chen, D. Li, and D. Lian, "Using artificial intelligence technology to fight COVID-19: a review," *Artificial Intelligence Review*, pp. 1-37, 2022.
- [9] B. González-Pérez, C. Núñez, J. L. Sánchez, G. Valverde, and J. M. Velasco, "Expert System to Model and Forecast Time Series of Epidemiological Counts with Applications to COVID-19," *Mathematics*, vol. 9, no. 13, p. 1485, 2021.
- [10] H. Şimşek and E. Yangın, "An alternative approach to determination of Covid-19 personal risk index by using fuzzy logic," *Health and Technology*, pp. 1-14, 2022.
- [11] M. Shatnawi, A. Shatnawi, Z. AlShara, and G. Husari, "Symptoms-based Fuzzy-Logic Approach for COVID-19 Diagnosis," *International Journal of Advanced Computer Science And Application (IJACSA)*, vol. 12, no. 4, 2021.
- [12] G. Wu et al., "Development of a clinical decision support system for severity risk prediction and triage of COVID-19 patients at hospital admission: an international multicentre study," *European Respiratory Journal*, vol. 56, no. 2, 2020.
- [13] C. Jin et al., "Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis," *Nature communications*, vol. 11, no. 1, 2020, pp. 1-14.
- [14] X. Xu et al., "A deep learning system to screen novel coronavirus disease pneumonia," *Engineering*, vol. 6, no. 10, 2020, pp. 1122-1129

- [15] K. Shankar and E. Perumal, "A novel hand-crafted with deep learning features based fusion model for COVID-19 diagnosis and classification using chest X-ray images," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 1277-1293, 2021.
- [16] M. Dehghandar, M. Pabasteh, and R. Heydari, "Diagnosis of COVID-19 disease by fuzzy expert system designed based on input-output," *Journal of Control*, vol. 14, no. 5, pp. 71-78, 2021.
- [17] K. F. Haque, F. F. Haque, L. Gandy, and A. Abdelgawad, "Automatic detection of COVID-19 from chest X-ray images with convolutional neural networks," in *2020 international conference on computing, electronics & communications engineering (iCCECE)*, 2021, pp. 125-130: IEEE.
- [18] A. A. S. Asl, M. M. Ershadi, and S. Sotudian, "Fuzzy Expert Systems for Prediction of ICU Admission in Patients with COVID-19," *arXiv preprint arXiv:2104.12868*, 2022.
- [19] Q. Hu et al., "Explainable artificial intelligence-based edge fuzzy images for COVID-19 detection and identification," *Applied Soft Computing*, vol. 123, p. 108966, 2022.
- [20] L. V. De Moura, C. Mattjie, C. M. Dartora, R. C. Barros, and A. M. M. da Silva, "Explainable Machine Learning for COVID-19 Pneumonia Classification With Texture-Based Features Extraction in Chest Radiography," *Frontiers in digital health*, vol. 3, 2022.
- [21] M. Jayalakshmi et al., "Fuzzy logic-based health monitoring system for covid'19 patients," *Cmc-Computers Materials & Continua*, pp. 2430-2446, 2021.
- [22] S. Asadi et al., "Evaluation of factors to respond to the COVID-19 pandemic using DEMATEL and fuzzy rule-based techniques," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 27-43, 2022.
- [23] M. Kamarzarrin, "Modeling of self-assessment system of COVID-19 disease diagnosis using Type-2 Sugeno fuzzy inference system," *Journal of Control*, vol. 14, no. 5, pp. 49-57, 2021.
- [24] L. Abualigah, A. Diabat, S. Mirjalili, M. Abd Elaziz, and A. H. Gandomi, "The arithmetic optimization algorithm," *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 376, p. 113609, 2021.
- [25] A. Arian et al., "Evaluation of chest CT-scan appearances of COVID-19 according to RSNA classification system," *Journal of Family Medicine and Primary Care*, vol. 11, no. 8, pp. 4410-4416, 2022.