

تشخیص بیماری کووید-۱۹ بوسیله سیستم خبره فازی طراحی شده بر اساس ورودی-خروجی

محمد دهقاندار^۱، مرضیه پابسته^۲، راضیه حیدری^۳

^۱ استادیار، گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران m_dehghandar@pnu.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری ریاضی کاربردی، مرکز تحصیلات تکمیلی پیام نور، M.pabasteh@yahoo.com

^۳ مربی، گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران Emailtorazieh@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۱۰/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده: پیش بینی و تشخیص دقیق بیماری کووید-۱۹ برای همه و به ویژه برای متخصصان پزشکی کاری بسیار با اهمیت است. از طرف دیگر استفاده از سیستمهای فازی در حوزه پزشکی با سرعت در حال افزایش است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات ۳۷۵ بیمار مشکوک به بیماری کووید-۱۹ که به مراکز درمانی بیمارستانهای امام خمینی(ره) تهران، البرز و کوثر کرج مراجعه کردهاند سیستم فازی طراحی شد. برای این منظور تعداد ۳۰۰ نفر جهت استخراج قوانین و ۷۵ نفر به عنوان داده های تست در نظر گرفته شدند. اطلاعات ۱۲ پارامتر مهم بیماری کووید-۱۹ اعم از تب، سرفه، سردرد، علائم گوارشی، بثورات پوستی، حس بویایی و چشایی، بیماری زمینهای، CT قفسه سینه، سطح اکسیژن خون، بی حالی، سن، سابقه خانوادگی و همچنین شدت بیماری کووید-۱۹ دریافت گردید. سیستم خبره فازی پس از بررسی قوانین و حذف قوانین مشابه و متناقض با بهره گیری از محاسبه درجه آنها، با ۲۹ قانون طراحی گردید در این سیستم با ادغام برخی عوامل در نهایت ۸ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی در نظر گرفته شد که با موتور استنتاج حاصلضرب، فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مراکز مورد استفاده قرار گرفت. ملاحظه شد که سیستم طراحی شده نتایج بسیار خوبی را ارائه می دهد، به طوریکه با دقت بالای ۹۳ درصد بیماری کووید-۱۹ را شناسایی می کند و همچنین حساسیت سیستم بیش از ۹۵ درصد و ویژگی سیستم طراحی شده بیش از ۸۷ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: کووید-۱۹، خبره فازی، ورودی-خروجی، تشخیص

Diagnosis of COVID-19 disease by fuzzy expert system designed based on input-output

Mohammad Dehghandar, Marzieh Pabasteh, Razieh Heydari

Abstract: Accurate prediction and diagnosis of COVID-19 disease is very important for everyone, especially for medical professionals. On the other hand, the use of fuzzy systems in medicine is increasing rapidly. In this study, a fuzzy system was designed using the information of 375 patients suspected of having COVID-19 disease who referred to Imam Khomeini (Tehran), Alborz (Karaj) and Kowsar(Karaj) hospitals. For this purpose, 300 people were considered to extract the rules and 75 people were considered as test data. Information on 12 important parameters of COVID-19 disease including fever, cough, headache, gastrointestinal symptoms, skin rash, sense of smell and taste, underlying disease, chest CT, blood oxygen level, lethargy, age, family history and severity of COVID-19 disease received. The fuzzy expert system was designed with 29 rules after reviewing the rules and removing similar and contradictory rules by using their degree calculation. In this system, by integrating some factors, finally 8 input variables and one output variable were considered that was used by product inference engine, singleton fuzzifier and center average defuzzifier. It was observed that the designed fuzzy expert system provides very good results, so that it detects 93% of Covid-19 disease with high accuracy and also the sensitivity of the system is more than 95% and the specificity of the designed system is more than 87%.

Keywords: COVID-19, fuzzy expert, input-output, diagnose.

۱- مقدمه

در سارس ممکن است علائم تنفسی تشدید و منجر به تنگی نفس شود. در شرایط حاد و رشد بیماری، ذات‌الریه یا دیسترس تنفسی رخ می‌دهد. کووید-۱۹ و سارس شباهت‌های زیادی با یکدیگر دارند، مثلاً هر دو بیماری تنفسی ناشی از ویروس کرونا هستند. گفته می‌شود ابتدا در خفاش ظاهر شده و سپس توسط یک میزبان واسط به انسان منتقل شده‌اند. از طریق ذرات تنفسی فرد مبتلا هنگام عطسه یا سرفه یا از طریق تماس با اشیاء یا سطوح آلوده شیوع پیدا می‌کنند. زمان پایداری هر دو در هوا و سطوح مختلف یکسان است و منجر به بیماری حاد می‌شوند تاجایی که گاهی به اکسیژن و دستگاه تنفسی احتیاج پیدا می‌شود. با تداوم بیماری، علائم هر دو تشدید می‌شود. گروه‌های در معرض خطر ابتلا به این دو بیماری یکسان است: سالمندان و کسانی که از قبل بیماری مزمن دارند [۲].

ابهام و عدم قطعیت در علم پزشکی امری بدیهی و مربوط به ذات و ماهیت پزشکی است. با استفاده از تئوری فازی می‌توان سیستم‌هایی طراحی کرد که مفاهیم و اصطلاحات زبانی و غیر دقیق را مدل‌سازی کرد و از دانش افراد متخصص در طراحی سیستم استنتاج فازی استفاده کرد و در نهایت به عنوان یک نرم افزار در اختیار پزشکان عمومی قرارداد [۳].

پس از ظهور این بیماری در دسامبر ۲۰۱۹ و پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و گزارش‌های هشدار دهنده دریافت شده از ووهان، در ۳۰ ژانویه ۲۰۲۰ یک وضعیت اضطراری بهداشت عمومی بین‌المللی اعلام کرد. گسترش این بیماری همه‌گیر تقریباً همه کشورهای جهان را تحت تأثیر قرار داده است [۴] و همانطور که این آمارها نشان می‌دهد شیوع کووید-۱۹ برای انسان کشنده است. مطالعات انجام شده از چین، ژاپن و کره نشان داده که علائم کووید-۱۹ شبیه سندروم حاد تنفسی (SARS) و سندرم تنفسی خاورمیانه (MERS) است [۵] و [۶].

دوران کمون بیماری کووید-۱۹، ۳ الی ۱۴ روز می‌باشد و بطور متوسط در طی ۴ الی ۵ روز پس از تماس، علائم آشکار می‌شود. در حدود ۸۰ درصد موارد بیماران مبتلا به کووید-۱۹ بصورت بی‌علامت، علائم خفیف تا متوسط دارند و در حدود ۱۵ درصد موارد مبتلایان با علائم شدید و نیاز به بستری مراجعه می‌کنند. در ۵ درصد 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 بی‌اشتهایی، ضعف، بی‌حالی، خستگی زودرس، دل درد، تهوع، استفراغ و اسهال اشاره نمود.

مطالعه وانگ^۱ و همکاران نشان داد که نرخ مرگ و میر ناشی از کووید-۱۹ بر اساس تعداد بیماران ۲,۸۴ درصد تخمین زده شده‌است. محققان همچنین دریافتند که نسبت مرگ و میر مرد به زن ۳,۲۵ به ۱ و

بیماری کووید-۱۹ برای اولین بار در تاریخ ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ توسط سازمان بهداشت جهانی در چین گزارش شد، همچنان ناشناخته باقی‌مانده و حتی با وجود اینکه تقریباً یک سال از ظهور این بیماری گذشته، اما همچنان تشخیص این بیماری به دلیل علائم مشترک بسیار زیاد با بیماری سرماخوردگی و آنفولانزای فصلی کاری مشکل برای پزشکان است. پزشکان عمومی که اولین افراد در شناسایی اولیه و مدیریت بیماری کووید-۱۹ هستند، اغلب به دلایل بیان شده فوق نمی‌توانند خیلی سریع این بیماری را تشخیص دهند. تشخیص به موقع این بیماری نقش بسزایی در کنترل و مدیریت این بیماری دارد. در گذشته بیماری‌های سارس و مرس نیز مشاهده شده که علائم مشترک و غیرمشترکی با این بیماری دارد [۱].

ویروس کرونا خانواده بسیار متنوعی از ویروس‌هاست که طیف گسترده‌ای از میزبان‌ها، از جمله انسان، را در برمی‌گیرد. با این وجود، بیشترین میزان تنوع ویروس کرونا در خفاش‌ها دیده می‌شود. روی سطح ویروس کرونا برآمدگی‌های تیزی دیده می‌شود که شبیه به تاج است. کرونا در زبان لاتین به معنای «تاج» است و نام این ویروس از همین جا نشأت می‌گیرد. در اکثر موارد، ویروس انسانی کرونا باعث بروز بیماری‌های خفیف تنفسی مانند سرماخوردگی می‌شود. در واقع، چهار نوع از ویروس‌های انسانی کرونا باعث بروز ۱۰ تا ۳۰ درصد عفونت در قسمت فوقانی دستگاه تنفسی بزرگسالان می‌شود. زمانی که ویروس کرونای حیوانی بتواند بیماری را به انسان منتقل کند، نوع جدیدی از ویروس کرونا 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. نمونه‌هایی از انواع ویروس کرونا در ادامه آمده است:

(۱) SARS - COV که اولین بار در سال ۲۰۰۳ باعث

بروز بیماری سارس شد.

(۲) MERS - COV که اولین بار در سال ۲۰۱۴ باعث

بیماری سندرم حاد تنفسی خاورمیانه (مرس) شد.

(۳) SARS - COV - 2 که اولین بار در سال ۲۰۱۹

باعث بروز بیماری کووید-۱۹ شد [۲].

سارس نام یک بیماری تنفسی است که در اثر ویروس SARS - CoV رخ می‌دهد. این کلمه مخفف سندرم حاد تنفسی است. شیوع جهانی سارس از اواخر سال ۲۰۰۲ تا اواسط سال ۲۰۰۳ ادامه داشت. در این میان، بیش از ۸۰۰۰ نفر به این ویروس مبتلا شدند و ۷۷۴ نفر جان خود را از دست دادند. باور بر این است که منشأ SARS - CoV از خفاش بوده است. گفته می‌شود این ویروس قبل از انتقال به انسان از خفاش به یک میزبان حیوانی واسط، نوعی گربه، منتقل شده بود. تب، از جمله اولین علائم سارس است که می‌تواند همراه با نشانه‌های دیگر باشد: سرفه، ناخوشی یا خستگی مفرط و گرفتگی و درد بدن [۲].

¹Wang

ماتریس آشفتگی (Confusion)

در سیستم‌های دسته‌بندی و تشخیص بیماری‌ها برای بررسی میزان موفقیت و کارایی این سیستم‌ها از ماتریس آشفتگی (Confusion) استفاده می‌شود [۱۵].

دقت (Accuracy) شبکه برای داده‌های تست از رابطه زیر بدست

می‌آید:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (1)$$

ارزیابی عملکرد روابط شرح داده شده در بالا، با استفاده از معیارهای متفاوتی بر مبنای دیدگاه حساسیت و تشخیص صورت گرفته شده است. شاخص حساسیت (Sensitivity) از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$Sensitivity = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (2)$$

و همچنین شاخص ویژگی (Specificity) به کمک رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Specificity = \frac{TN}{(TN + FP)} \quad (3)$$

معیارهای مورد استفاده در این دیدگاه به شرح زیر می‌باشد:

TP: تعداد کل بیماران با وضعیت شناسایی حاد و متوسط که توسط سیستم به درستی شناسایی شده‌اند.

TN: تعداد کل بیماران با وضعیت شناسایی خفیف که توسط سیستم به درستی شناسایی شده‌اند.

FP: تعداد کل بیماران با وضعیت شناسایی حاد و متوسط که توسط سیستم به درستی شناسایی نشده‌اند.

FN: تعداد کل بیماران با وضعیت شناسایی خفیف که توسط سیستم به درستی شناسایی نشده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر یک مطالعه تشخیصی است که براساس متغیرهای ورودی به پیشگویی و تشخیص بیماری کووید-۱۹ می‌پردازد. جامعه آماری بیمارانی هستند که به بیمارستان‌های امام خمینی (ره) تهران، البرز و کوثر کرج مراجعه نمودند. این تعداد ۳۷۵ نفر بودند که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا با مشورت پزشکان ۱۲ متغیر تب، سرفه، سردرد، علائم گوارشی، بثورات پوستی، حس بویایی و چشایی، بیماری زمینه‌ای، CT قفسه سینه، سطح اکسیژن خون، بی‌حالی، سن و سابقه خانوادگی که از جمله علائم شایع بیماری کووید-۱۹ در بین مراجعان بود به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند همچنین بیماری کووید-۱۹ که به عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شد نیز به سه حالت خفیف، متوسط و حاد تقسیم بندی گردید. جدول ۱ وضعیت کلی داده‌های ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.

میان سن مرگ ۷۵ سال و میانه زمان، از اولین علائم تا مرگ ۱۴ روز و میانه زمان از علائم اولیه تا مرگ در افراد با سن ۷۰ سال و بالاتر (۱۱،۵ روز) و افراد زیر ۷۰ سال (۲۰ روز) است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که این بیماری ممکن است در بزرگسالان سریعتر از افراد جوان پیشرفت کند [۷].

ژائو^۱ و همکاران دریافتند که ACE2 گیرنده کرونا ویروس است. مردان در سلول‌های آلوئی خود سطح ACE2 بالاتری از زنان دارند. آسیایی‌ها سطح بالاتری از بیان ACE2 در سلول‌های آلوئی خود نسبت به جمعیت سفیدپوست و آمریکایی آفریقایی دارند. آنها همچنین تأیید کردند که مردان آسیایی بیشتر مستعد به عفونت کووید-۱۹ هستند [۸].

راپ^۲ و همکاران دریافتند که توانایی اتصال گیرندگی کووید-۱۹ ده تا ۲۰ برابر قویتر از کرونا ویروس سارس است [۹].

هوآنگ^۳ و همکاران دریافتند که ۸۹ درصد از بیماران کووید-۱۹ در مطالعه تب داشته‌اند، از این تعداد ۷۸ درصد دما بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد بود. آنها گزارش دادند که ۷۶ درصد از بیماران دچار سرفه، ۴۴ درصد از بیماران دچار خستگی و درد عضلانی و ۵۵ درصد از بیماران دچار تنگی نفس بودند. تعداد کمی از بیماران همچنین خلط ۲۸ درصد، سردرد ۸ درصد، خونریزی ۵ درصد و اسهال ۳ درصد داشتند. تستهای آزمایشگاهی نشان داد که ۲۵ درصد از بیماران آلوده مبتلا به لکوپنی و ۶۳ درصد مبتلا به لنفوسیتوپنی هستند [۱۰].

با توجه به عدم وجود سابقه کووید-۱۹ در انسان، تاکنون درمان خاصی برای آن ارائه نشده است. در شرایط اضطراری فعلی، تعداد موارد به سرعت در حال افزایش است. بنابراین، تشخیص همه موارد مشکوک در اسرع وقت و جداکردن سریع آنها، برای قطع منبع عفونت بسیار مهم است. روشهای آزمایش مرسوم تشخیصی، مانند سنجش برای تشخیص آنتی بادی‌های ضد ویروس، از نظر بالینی توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱] و [۱۲]. راهکارهای جدید تشخیصی از جمله PCR و سنجش‌های مبتنی بر ریزآرایه ممکن است در پایش اقدامات اپیدمیولوژیک، همراه با انجام اقدامات پیشگیری مؤثر باشد. اسیدهای نوکلئیک کووید-۱۹ در نمونه‌هایی از جمله سواب‌های خلط، ترشحات دستگاه تنفسی تحتانی، خون و مدفوع قابل تشخیص است [۱۳] و [۱۴].

شیوع کووید-۱۹ به یک تهدید بالینی برای جمعیت عمومی و پرسنل مراقبت‌های بهداشتی در سراسر جهان تبدیل شده است. با این حال، دانش در مورد این ویروس جدید محدود است. گزینه مؤثر آنتی ویروس درمانی و واکسیناسیون در حال حاضر تحت ارزیابی و توسعه است. آنچه ما اکنون می‌توانیم انجام دهیم، اقدامات کنترل عفونت برای جلوگیری از گسترش کووید-۱۹ از طریق انتقال انسان به انسان است. هرچه دانش بیشتری در مورد کووید-۱۹ و شیوع آن در دسترس باشد امکان مقابله بهتر امکان پذیرتر خواهد بود [۲].

¹Zhao
²Wrapp
³Huang

هر پارامتر با بررسی متون و راهنماها استخراج شد و با کمک آنها توابع عضویت برای هر متغیر به صورت زیر در نظر گرفته شد.

$$\mu_{I_1}(x) = \begin{cases} 0.5x - 17 & 34 \leq x \leq 36 \\ -x + 37 & 36 < x \leq 36.7 \\ 0.5x - 18 & 36.7 < x \leq 38 \\ -0.5x + 20 & 38 < x \leq 39 \\ 0.5x - 19 & 39 < x \leq 40 \\ -0.5x + 21 & 40 < x \leq 42 \end{cases} \quad (۴)$$

$$\mu_{I_4}(x) = 0.2x \quad (۳)$$

$$\mu_{I_7}(x) = 0.2x \quad (۶)$$

$$\mu_{I_9}(x) = \begin{cases} 0.25x - 20.75 & 83 \leq x \leq 87 \\ -0.25x + 22.75 & 87 < x \leq 90.2 \\ x - 90 & 90.2 < x \leq 91 \\ -x + 90 & 91 < x \leq 91.8 \\ 0.25x - 22.75 & 91.8 < x \leq 95 \\ -0.25x + 24.75 & 95 < x \leq 99 \end{cases} \quad (۷)$$

$$\mu_{I_{11}}(x) = \begin{cases} 0.1x - 1.5 & 15 \leq x \leq 25 \\ -0.1x + 3.5 & 25 < x \leq 33 \\ 0.07x - 2 & 33 < x \leq 45 \\ -0.07x + 4 & 45 < x \leq 57 \\ 0.05x - 2.75 & 57 < x \leq 75 \\ -0.05x + 4.75 & 75 < x \leq 95 \end{cases} \quad (۸)$$

$$\mu_{I_{12}}(x) = 0.33x \quad (۹)$$

$$\mu_O(x) = \begin{cases} 0.4x & 0 \leq x \leq 2.5 \\ -0.4x + 2 & 2.5 < x \leq 3.75 \\ 0.4x - 1 & 3.75 < x \leq 5 \\ -0.4x + 3 & 5 < x \leq 6.25 \\ 0.4x - 2 & 6.25 < x \leq 7.5 \\ -0.4x + 4 & 7.5 < x \leq 10 \end{cases} \quad (۱۰)$$

به منظور تدوین مناسب توابع تعلق متغیرهای وابسته و دارای عوامل مشترک باهم ادغام و به صورت یک متغیر در نظر گرفته شدند یعنی متغیرهای سرفه و CT را با هم و به صورت یک متغیر و تابع تعلق آن $\mu(x) = 0.33x$ در نظر گرفته شد همچنین متغیرهای سردرد، بنورات پوستی، حس بویایی و چشایی و بی‌حالی را هم به عنوان یک متغیر با تابع تعلق $\mu(x) = 0.33x$ در نظر گرفته شدند. در نهایت با کمک توابع تعلق فازی سیستم فازی به صورت زیر طراحی گردید.

فرض کنید مجموعه فازی B^I در قواعد اگر- آنگاه فازی با مرکز \bar{I}^I یک مجموعه طبیعی باشد. حال سیستم‌های فازی با پایگاه قواعد اگر آنگاه فازی با موتور استنتاج (۱۱) و فازی ساز منفرد (۱۲) و همچنین غیر فازی سازی میانگین مراکز (۱۳).

جدول ۱: وضعیت داده‌های ورودی و خروجی

میانگین	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	حالت متغیرها	متغیرها	ورودی - خروجی
۳۶.۸۹	۳۵	۴۰		تپ C°	I ₁
-	۱۶۷		دارد	سرفه	I ₂
-		۲۰۸	ندارد		
-	۱۶۴		دارد	سردرد	I ₃
-		۲۱۱	ندارد		
-		۶۰	نوع / استفرغ	علامت گوارشی	I ₄
-		۸۸	یبوست		
-		۲۸	اسهال		
-	۴		دارد	بنورات پوستی	I ₅
-		۳۷۱	ندارد		
-	۸۸		دارد	حس بویایی چشایی	I ₆
-		۲۸۷	ندارد		
-		۵	دیابت	بیماری زمینه‌ای	I ₇
-		۱۵	قلبی و فشارخون		
-		۴	آسم		
-		۸	سرطان		
-		۳	چربی خون		
-		۳	هپاتیت		
-		۲۳۱	+	CT	I ₈
-	۱۴۴		-		
۸۹.۸۶	۸۴	۹۷		ریتم تنفس	I ₉
-		۲۵۹	دارد	بیحالی	I ₁₀
-	۱۱۶		ندارد		
۴۰.۲۳	۱۵	۷۱		سن	I ₁₁
-		۱۱۸	دارد	سابقه خانوادگی	I ₁₂
-	۲۵۷		ندارد		
-	۱۲۳		خفیف	وضعیت شناسایی بیمار	O
-	۱۹۹		متوسط		
-	۵۳		حاد		

همچنین توابع تعلق مربوط به داده‌های بیماری بر اساس تحقیقات قبلی و نظر متخصصان تعریف گردید. در ادامه با کمک نرم افزار متلب و جعبه ابزار فازی سیستم طراحی گردید. بدین صورت که در حدود ۸۰ درصد از داده‌های موجود یعنی ۳۰۰ نفر از افراد جهت آموزش و تدوین قوانین سیستم فازی مورد استفاده قرار گرفتند و در ادامه با استفاده از حدود ۲۰ درصد باقی مانده بیماران به عنوان داده‌های تست که ۷۵ نفر بودند، فرایند بررسی خطای این سیستم انجام گردید. همچنین ارزیابی براساس ماتریس آشفستگی و معیارهای حساسیت، ویژگی و صحت انجام گرفت.

۳- یافته‌ها

جهت طراحی سیستم خبره فازی ابتدا توابع تعلق طبق آخرین یافته‌های علمی که محدوده متغیرهای بیماری را تعیین نموده اند به صورت زیر تعریف گردید. به منظور فازی کردن متغیرهای ورودی ابتدا محدوده‌ی

۰,۶	۰,۶۶	۰,۸۷	۰,۵	۰,۶	۱	۰,۶۶	۰,۶۶	۰,۵	۱۵
۰,۲	۰,۶۶	۰,۶	۰,۵	۰,۶	۰,۴	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۵	۸۳

* شامل سردرد، بثورات پوستی، حس بویایی و چشایی و بی حالی می باشد.

به عنوان مثال، قانون ۱ و ۸۳ دو قانون مشابه می باشند و درجه هر دو قانون به صورت زیر می باشد:

$$D(rule1) = 516.78 \times 10^{-5}$$

$$D(rule83) = 517.5 \times 10^{-6}$$

ملاحظه می شود قانون ۱ قویتر است و لذا قانون ۸۳ حذف می گردد و همچنین قانون ۱ و قانون ۱۵ دو قانون متضاد هستند و با محاسبه درجه هر دو قانون خواهیم داشت:

$$D(rule1) = 516.78 \times 10^{-5}$$

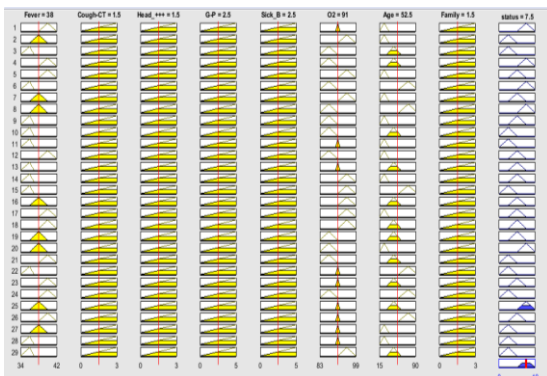
$$D(rule15) = 225.11 \times 10^{-4}$$

لذا فقط قانون ۱۵ باقی می ماند.

با انجام روند فوق برای همه ۳۰۰ بیمار مورد بررسی و حذف قوانین متضاد و مشابه، در نهایت ۲۹ قانون باقی ماند و لذا پایگاه دانش سیستم استنتاج فازی توسط این ۲۹ قانون تشکیل گردید. در ادامه با کمک نرم افزار متلب و جعبه ابزار فازی سیستم طراحی گردید.

بدین صورت که در حدود ۸۰ درصد از داده های موجود یعنی ۳۰۰ نفر از افراد جهت آموزش و تدوین قوانین سیستم فازی مورد استفاده قرار گرفتند و در ادامه با استفاده از حدود ۲۰ درصد باقی مانده بیماران به عنوان داده های تست که ۷۵ نفر بودند، فرایند بررسی خطای این سیستم انجام گردید.

در سیستم طراحی شده ۸ ورودی و یک خروجی وجود دارد. این سیستم فازی با موتور استنتاج حاصلضرب، فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مراکز طراحی گردید. در شکل های ۱ و ۲ نمایی از رابط کاربری سیستم استنتاج فازی طراحی شده برای تشخیص بیماری کووید-۱۹ و همچنین بخشی از قواعد به کار گرفته شده و پایگاه دانش سیستم فازی طراحی شده برای تشخیص این بیماری نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمایی از رابط کاربری سیستم استنتاج فازی طراحی شده برای تشخیص بیماری کووید-۱۹

$$\mu_B(y) = \max_{L=1}^M [\sup_{x \in U} (\mu_{A_i}(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x) \mu_{B'}(y))] \quad (14)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 1 & ; X = X^* \\ 0 & ; X \neq X^* \end{cases} \quad (12)$$

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l w^l}{\sum_{l=1}^M w^l} \quad (13)$$

به صورت زیر خواهد بود:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x))}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x))} \quad (14)$$

که $f(x) \in V \subset R$ ورودی سیستم فازی و $x \in U \subset R^n$ خروجی سیستم فازی می باشد.

همچنین برای محاسبه درجه هر قانون و قاعده به صورت زیر عمل می کنیم:

$$D(rule) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_{oi}^p) \mu_{B'}(y_o^p) \quad (15)$$

همچنین پس از تعیین درجه قوانین بر اساس مقادیر درجات بالاتر، قوانین مشابه و متضاد با درجات پایینتر حذف می شوند [۱۶].

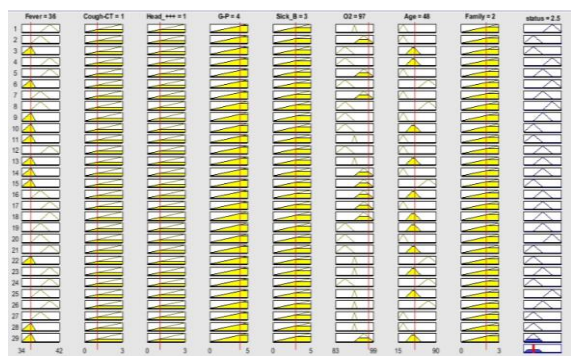
به کمک روش جدول جستجو ابتدا برای هر بیمار مقدار تابع تعلق هر ورودی محاسبه گردید و بدین ترتیب برای هر ۳۰۰ مورد توابع تعلق محاسبه گردیدند. سپس برای هر مورد درجه قانون نیز بصورت زیر تعیین گردید. به عنوان مثال فردی که میزان تب او ۳۸ بود، علائم سردرد و سرفه و اسهال داشت، بثورات پوستی در او مشاهده نشده بود، حس بویایی و چشایی اش از دست نرفته بود، بیماری زمینه ای ثبت نشده بود، ریه او درگیر عفونت نگردیده بود، سطح اکسیژن خون او ۹۰ بود، بی حال بود، ۳۷ سال سن داشت، در خانواده افراد دیگری نیز به این بیماری مبتلا شده بودند و شدت بیماری او متوسط بود درجه قانون برای این مورد مقدار ۰,۰۰۰۰۰۰۵۲۵ محاسبه گردید. لذا بدین صورت قوانین با استفاده از اطلاعات افراد تدوین گردید. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به ۳ بیمار و نحوه حذف قوانین آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر تابع تعلق ۳ بیمار برای متغیرهای ورودی و خروجی

ردیف	CT	سر درد	علامت گارسی	بیماری زمینه ای	سطح اکسیژن خون	سن	سابقه بیماری	وضعیت ششایی
۱	۰,۵	۱	۰,۶۶	۱	۰,۶	۰,۸۷	۱	۰,۲

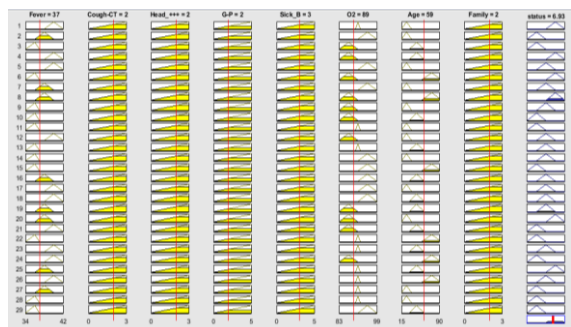
جدول ۳: برخی قواعد به کارگرفته در پایگاه دانش سیستم فازی طراحی شده

Status	Family	Age	O ₂	Sick_B	G-P	+_Head ++	Cough -CT	Fever	N
Slight	H-F	M	N	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	low	1
Acute	H-F	Y	C	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	upper	2
Slight	H-F	Y	N	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	Critical	3
Slight	H-F	M	A	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	low	4
Acute	H-F	M	A	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	upper	5
medium	H-F	Y	N	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	upper	6
Acute	H-F	O	A	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	low	7
medium	H-F	Y	N	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	Critical	8
Acute	H-F	O	A	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	Critical	9
medium	H-F	Y	A	U-d	G-S	+_Head ++	Cough -CT	low	10



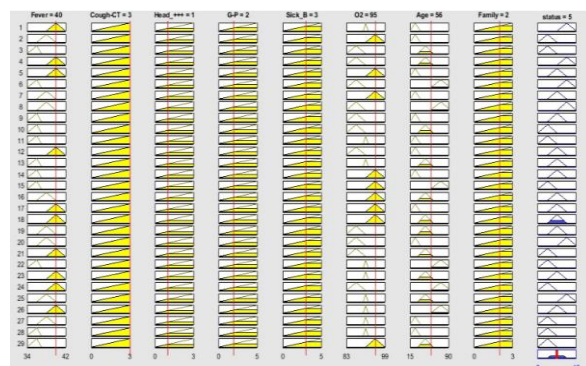
شکل ۳: نتیجه تست سیستم برای نمونه ۲

همچنین در شکل ۳ نشانه داده شده است که برای بیمار ۴۸ ساله ای که دمای بدنش ۳۶ درجه است و سرفه ندارد و ریه ای او درگیر عفونت نشده و سردرد و بی حالی و بثورات پوستی ندارد و حس بویایی و چشایی بیمار از دست رفته است، اسهال دارد و بیماری زمینه ای ندارد و سطح اکسیژن خون او ۹۷ و در خانواده اش کسی به این بیماری مبتلا نشده است، سیستم طراحی شده خروجی ۲٫۵ را نشان می دهد و این یعنی بیمار به بیماری کووید-۱۹ با شدت خفیف دچار شده است که باز هم این نتیجه با واقعیت تطابق دارد.



شکل ۴: نتیجه تست سیستم برای نمونه ۳

در شکل ۴ ملاحظه می شود برای بیمار ۵۹ ساله ای که دمای بدنش ۳۷ درجه است، سرفه ندارد، عفونت ریه دارد، سردرد دارد، بی حال است، هیچ گونه علائم گوارشی ندارد، بیماری زمینه ای ندارد، سطح اکسیژن خون او ۸۹ و در خانواده اش کسی به این بیماری مبتلا نشده است، خروجی ۶٫۹۳ را نشان می دهد و این یعنی بیمار به بیماری کووید-۱۹ با شدت حاد دچار شده است که این نتیجه با اطلاعات واقعی این فرد تطابق دارد. ماتریس آشفتگی برای داده های تست سیستم طراحی شده در جدول ۳ به صورت زیر داده شده است:



شکل ۲: نتیجه تست سیستم برای نمونه ۱

در شکل ۲ ملاحظه می شود که سیستم طراحی شده برای بیمار ۵۶ ساله ای که دمای بدنش ۴۰ درجه و سرفه دارد و ریه ای او درگیر عفونت شده و سردرد هم دارد، علائم گوارشی و بیماری زمینه ای ندارد و سطح اکسیژن خون او ۹۵ و در خانواده اش کسی به این بیماری مبتلا نشده است،

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم می‌دانیم از کادر درمان بیمارستانهای امام خمینی (ره) تهران، البرز و کوثر کرج که در این پژوهش با ما همکاری صمیمانه‌ای داشتند تقدیر و تشکر نمایم.

مراجع

- [1] Conzade, R.; Grant, R.; Malik, M. R.; Elkholy, A.; Elhakim, M. et al. (2018): Reported direct and indirect contact with dromedary camels among laboratory-confirmed MERS-CoV cases. *Viruses*, vol. 10, no. 8, pp. 425-433.
- [2] Danesh F, Ghavidel S, (2020) : Coronavirus : Scientometrics of 50 years of Global Scientific Productions , *Iran J Med. Microbiol*; Vol. 14, no. 1, pp.1 – 16.
- [3] Dehghandar M, Khaloozadeh H, etal (2016) : Application Of Fuzzy Logic to determine the retentive causes Of pulse body the pulse parameters in Iranian Traditional Medicine, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology* , vol. 3 Issue 2.
- [4] Conzade, R.; Grant, R.; Malik, M. R.; Elkholy, A.; Elhakim, M. et al. (2018): Reported direct and indirect contact with dromedary camels among laboratory-confirmed MERS-CoV cases. *Viruses*, vol. 10, no. 8, pp. 425-433.
- [5] Memish, Z. A.; Cotton, M.; Meyer, B.; Watson, S. J. et al. (2014): Human infection with MERS coronavirus after exposure to infected camels, Saudi Arabia, 2013. *Emerging Infectious Diseases*, vol. 20, no. 6, pp. 1012-1018.
- [6] Müller, M. A.; Corman, V. M.; Jores, J.; Meyer, B.; Younan, M. et al. (2014): MERS coronavirus neutralizing antibodies in camels, Eastern Africa, 1983-1997. *Emerging Infectious Diseases*, vol. 20, no. 12, pp. 2093-2099.
- [7] Wang W, Tang J, Wei F. Updated understanding of the outbreak of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in Wuhan, China. *J Med Virol*. 2020.
- [8] Zhao Y, Zhao Z, Wang Y, Zhou Y, Ma Y, Zuo W. Single-cell RNA expression profiling of ACE2, the putative receptor of Wuhan 2019-nCoV. *BioRxiv*. 2020.
- [9] Wrapp D, Wang N, Corbett KS, Goldsmith JA, Hsieh CL, Abiona O, Graham BS, McLellan JS. Cryo-EM structure of the 2019-nCoV spike in the prefusion conformation. *Science*. 2020 Feb 19.
- [10] Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*. 2020; 395(10223):497-506.

جدول ۴: جدول ماتریس آشفستگی داده‌ها با استفاده از سیستم فازی طراحی

شده

پیشگویی شبکه	حاد و متوسط	خفیف
حاد و متوسط	۵۰	۳
خفیف	۳	۱۹

و لذا همانطور که ملاحظه می‌شود سیستم خبره فازی طراحی شده بر مبنای جدول جستجو با دقت بالای ۹۳ درصد بیماری کووید-۱۹ را شناسایی می‌کند و همچنین حساسیت سیستم بیش از ۹۵ درصد و ویژگی سیستم طراحی شده بیش از ۸۷ درصد می‌باشد که نشان از کارایی بالای سیستم در تشخیص اصل بیماری و همچنین تشخیص شدت بیماری می‌باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

ملاحظه شد که سیستم فازی طراحی شده نتایج مطلوبی جهت تشخیص و پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹ در بین مراجعه‌کنندگان به مراکز درمانی را ارائه می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات ۳۷۵ مراجعه‌کننده به مراکز درمانی بیمارستان امام خمینی (ره) تهران، بیمارستان البرز کرج و بیمارستان کوثر کرج ۱۲ متغیر ورودی تب، سرفه، سردرد، علائم گوارشی، بثورات پوستی، حس بویایی و چشایی، بیماری زمینه‌ای، CT قفسه سینه، سطح اکسیژن خون، بی‌حالی، سن و سابقه خانوادگی را جهت تشخیص و پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹ مورد استفاده قرار گرفته است. در صورتیکه در تحقیقات قبلی مانند [۱] از متغیرهای کمتری استفاده شده بود. بنابراین با به کارگیری تعداد متغیرهای ورودی بیشتر، تشخیص و پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹ را دقیقتر می‌سازد لذا نتایج بسیار بهتری بدست می‌آید و جامع تر بودن این تحقیق را نشان می‌دهد. همچنین این سیستم علاوه بر شناسایی اصل بیماری، شدت آن را نیز با دقت بالایی تشخیص می‌دهد که در غربالگری بیماری کووید-۱۹ از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و می‌تواند کمک بسیار خوبی برای کادر درمان جهت تشخیص وضعیت بیمار مراجعه‌کننده به لحاظ شدت بیماری باشد. طبق نتایج حاصل شده این سیستم با دقت ۹۳ درصد، بیماری را شناسایی می‌کند. همچنین مشاهده شد که حساسیت سیستم برابر ۹۵ درصد و ویژگی سیستم طراحی شده ۸۷ درصد می‌باشد. لذا بر اساس این سیستم فازی طراحی شده می‌توان سیستم تصمیم‌یار مناسب برای پزشکان جهت تشخیص و پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹ و همچنین تعیین وضعیت بیماری به لحاظ شدت آن طراحی و پیاده‌سازی نمود. از جمله محدودیتهای انجام این پژوهش عدم دسترسی به داده‌های بیمارستانی وسیع و همچنین عدم طیف بندی وسیعتر داده‌ها بود چرا که می‌تواند دقت، حساسیت و ویژگی سیستم را تا حد قابل ملاحظه‌ای بیشتر نماید و سیستم طراحی شده را قابل اعتمادتر و کم‌نقص‌تر نماید.

[11] Emery SL, Erdman DD, Bowen MD, Newton BR, Winchell JM, Meyer RF, et al. Real-time reverse transcription-polymerase chain reaction assay for SARS-associated coronavirus. *Emerging infectious diseases*. 2004; 10(2):311-6.

[12] Gaunt ER, Hardie A, Claas EC, Simmonds P, Templeton KE. Epidemiology and clinical presentations of the four human coronaviruses 229E, HKU1, NL63, and OC43 detected over 3 years using a novel multiplex real-time PCR method. *Journal of clinical microbiology*. 2010; 48(8):2940-7..

[13] Wu F ZS, Bin Y, Chen YM, Wang W, Song ZG, Hu Y, et al. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*. 2020.

[14] Zhou P YX, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*. 2020.

[15] Asrardel M, "Prediction of Combustion Dynamics in an Experimental Turbulent Swirl Stabilized Combustor with Secondary Fuel Injection", University of Tehran, 2015.

[16] Wang Li-Xin (1996). *A course in fuzzy systems and control*: prentice Hall International, Inc.