

مدل سازی سیستم خود ارزیابی بیماری COVID-19 با استفاده از استنتاج های فازی سوگنو نوع دو

مریم کمرزین^۱، نجمه اقبال^۲

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی برق، گروه الکترونیک، دانشگاه صنعتی سجاد مشهد، m.kamarzarrin@sruc.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده برق و مهندسی پزشکی، گروه الکترونیک، دانشگاه صنعتی سجاد مشهد، najmeh.eghbal@sadjad.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۹/۱۰/۰۹، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده: بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی با تداوم همه گیری ویروس کرونا در جهان تا کنون شمار فوت شدگان به بیش از یک میلیون تن رسیده است. تشخیص زود هنگام بیماری می تواند کمک زیادی برای قطع زنجیره انتقال بیماری باشد. در حال حاضر کیت های تست کووید-۱۹ بسیار محدود و پرهزینه هستند که روند تشخیص را کند و مشکل ساز می سازند در نتیجه نیاز است این بیماری در مراحل اولیه تشخیص داده شود تا از انتقال آن جلوگیری گردد. از این رو بر آن شدیم تا به کمک استنتاج فازی سوگنو نوع دو روش خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ را پیشنهاد دهیم که می تواند باعث صرفه جویی در وقت و هزینه شود. این سیستم مبتنی بر ۹۸ قانون است که بر اساس رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی تهیه شده است و از نرم افزار MATLAB برای شبیه سازی و تشخیص بیماری استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که مدل فازی سوگنو به ترتیب با ضریب همبستگی $R^2 = 0.94$ و مجذور مربعات خطا $MSE = 0.045$ در مرحله آموزش و تست عملکرد قابل قبولی در تشخیص و تعیین نوع بیماری کووید-۱۹ دارد. نتایج خود ارزیابی بسیار امیدوارکننده است و می تواند مانعی از گسترش بیشتر بیماری گردد.

کلمات کلیدی: بیماری کووید-۱۹، منطق فازی نوع دو، استلزام سوگنو، خودارزیابی.

Modeling of self-assessment system of COVID-19 disease diagnosis using Type-2 Sugeno fuzzy inference system

Maryam Kamarzarrin, Najmeh Eghbal

Abstract: Due to the continuation of the pandemic of Coronavirus in the whole world, the number of deaths has reached over one million, based on the World Health Organization reports. Early diagnosis of the illness can be a great assistance in order to break the chain of disease transmission. Nowadays, COVID-19 test kits are so limited in numbers, and expensive in terms of a cost, which slows down the diagnosis procedure and makes it difficult, thus, it is necessary to diagnose the disease in the early stages, to prevent its incidence. Therefore, we decided to propose a self-assessment method for COVID-19 disease, using a type-2 Sugeno fuzzy inference system, which causes conservation in time and costs. The system is prepared based on 98 rules, according to the World Health Organization instructions, using MATLAB software to simulate and diagnose the disease. The results show that Sugeno fuzzy with better correlation coefficient $R^2 = 0.94$ and error squared RMSE = 0.045, respectively, has acceptable accuracy for estimating and identifying COVID-19 disease. The self-assessment consequences are very promising and can prevent the further spread of the disease.

Keywords: COVID-19, Type-2 Fuzzy Logic, Sugeno fuzzy inference system, self-assessment.

۱- مقدمه

کرونا ویروس ها^۱ خانواده بزرگی از ویروس ها هستند. این ویروس ها اولین بار در سال ۱۹۶۰ کشف شدند و مطالعه بر روی آن ها تا اواسط دهه ۱۹۸۰ ادامه پیدا کرد. تاکنون هفت نمونه از این ویروس ها در جهان شناخته شده است [۱]. آخرین ورژن کرونا ویروس ها، دسامبر ۲۰۱۹ در شهر ووهان^۲ چین در نمونه های انسانی شیوع پیدا کرد که موجب ابتلا به یفنی از عفونت های دستگاه تنفسی، از قبیل سرماخوردگی تا بیماری های شدیدتری مثل سندروم تنفسی خاورمیانه مرس^۳ و سندروم تنفسی حاد سارس^۴ در انسان ها گردید [۲]. این ویروس می تواند از طریق قطره های تنفسی ناشی از سرفه های فرد مبتلا در محیط پخش شده و سپس با لمس سطح آلوده توسط شخص دیگری از طریق لمس دهان، بینی یا چشم ها مبتلا گردد. راه های های گوناگونی برای پیشگیری از سرایت بیماری توسط سازمان بهداشت جهانی و مراکز کنترل و پیشگیری بیماری CDC بیان شده است. روش هایی از جمله شستشوی مکرر دست ها، مصرف مایعات ضد عفونی کننده، استفاده از ماسک، سرفه کردن در بخش داخلی آرنج یا دستمال، استفاده از تهویه مطبوع در فضاهای بسته، رعایت فاصله گذاری اجتماعی، پرهیز از تجمعات غیر ضروری و ... [۳] با تمامی موارد اشاره شده روشی که کووید-۱۹ منتشر می شود منجر به اعلام بیماری همه گیری در جهان شده است. در نتیجه شناسایی بیماران و قرنطینه کردن آن ها به مدت دو هفته می تواند گام بزرگی در قطع زنجیره شیوع ویروس باشد. معمولاً برای تشخیص کووید-۱۹ از دو نوع تست تشخیص عفونی آنتی بادی در مراکز درمانی استفاده می شود. اساس تست تشخیص عفونی (PCR) بر کپی برداری از سکانس DNA یا RNA نمونه مورد نظر می باشد که بر این اساس می توان بیماری را تشخیص داد. تست سرولوژی یا آنتی بادی کرونا به دنبال پادتن هایی می گردد که توسط سیستم ایمنی در واکنش به عامل تهدید آمیز، مانند نوع خاصی از ویروس، تولید می شود [۴]. تب، خستگی و بی حالی، سرفه های خشک و مداوم از رایج ترین علائم ابتلا به کرونا است. با این حال، دانشمندان اعلام کرده اند از دست دادن حس بویایی و چشایی یکی از علائمی است که به طور گسترده در میان مبتلایان به کووید-۱۹ دیده می شود [۵]. شباهت بسیار زیاد علائم کووید-۱۹ با سرماخوردگی و آنفولانزا باعث شده است که نگرانی و استرسی در بین عموم جامعه به وجود آید، در نتیجه متقاضیان انجام تست های PCR و آنتی بادی کرونا افزایش یابد. در حالی که به دلیل خطر بالای شیوع ویروس کرونا در مراکز درمانی و بیمارستان ها و هزینه بالای این تست ها، مراجعه به این مکان ها برای انجام تست برای عموم مردم توصیه نمی شود و تنها افرادی که علائم رایج ابتلا را دارند باید اقدام نمایند. از این رو، افراد باید نسبت به شناسایی این عوامل در خود و اعضای خانواده شان توجه زیادی نشان دهند. در نتیجه بررسی شرایط اولیه بیمار و تشخیص درست علائم بیماری از اهداف این مقاله است تا بتواند به دور از مراکز درمانی و

بیمارستانی احتمال ابتلای فرد ناقل را پیش بینی کند و در صورت مثبت بودن تست برای جلوگیری از انتقال ویروس، فرد مبتلا خود را قرنطینه کند تا دیگران در معرض خطر ابتلا قرار نگیرند و همچنین بهترین تصمیم را نسبت به وضعیت خود داشته باشد. این مسأله به تصمیم گیری صحیح و صرفه جویی در زمان بسیار کمک خواهد کرد. در ادامه به بررسی استنتاج فازی می پردازیم سپس الگوریتم های سوگنو نوع یک و دو معرفی خواهند شد در بخش بعدی نتایج و شبیه سازی های آورده خواهند شد و در انتها نتیجه گیری نهایی بیان خواهد شد.

۲- سیستم استنتاج فازی

منطق فازی اولین بار توسط پروفیسور لطفی زاده در رساله ای به نام «مجموعه های فازی - اطلاعات و کنترل» در سال ۱۹۶۵ معرفی گردید و در دهه ۱۹۷۰ رشد و کاربرد عملی پیدا کرد، بزرگ ترین رخدادهای این دهه تولید کنترل کننده های فازی برای سیستم های واقعی بود [۶]. روند تبدیل متغیرهای صریح به متغیرهای زبانی را فازی سازی می گویند و مجموعه فازی به عنوان زیر مجموعه ای از عناصری با درجه عضویت بین صفر و یک تعریف می شود. موتور استنتاج با استفاده از الگوریتم های استنتاج، قوانین را ارزیابی می کند و پس از تجمیع قوانین خروجی توسط واحد دفازی ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می شود. از جمله مزایای منطق فازی می توان به موارد زیر اشاره نمود: منطق فازی به تفکر و منطق انسان نزدیک است. برنامه های طراحی شده با منطق فازی سریع و کم هزینه هستند. به راحتی می تواند مدل سازی شوند. به طور گسترده ای در سیستم های کنترل و پیش بینی تصمیم قابل استفاده است. برای توصیف پدیده های غیرقطعی و نامشخص به کار می روند. از سوی دیگر قوانین منطق فازی توسط تجربه متخصص تعیین می شوند. توابع توسط آزمون و خطا مشخص می شوند که زمان بر هستند. در حالی که مزایای این روش در مقایسه با معایب آن باعث می شود استفاده از استنتاج های فازی یکی از انتخاب های مهم در پیش بینی و مدیریت شرایط باشد. سیستم استنتاج فازی دارای روش های متفاوتی است که از مهم ترین آن ها می توان به روش ممدانی و سوگنو (TSK) اشاره کرد. که در ادامه به بررسی الگوریتم استنتاجی سوگنو می پردازیم.

۳- الگوریتم استنتاج تاکاگی سوگنو نوع یک^۵

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 روش استنتاج بیشتر در سیستم های کنترلی و در زمینه هایی که نیاز به محاسبات ریاضی باشد مورد استفاده قرار می گیرد [۷]. خروجی الگوریتم استنتاج سوگنو یک چند جمله ای مرتبه اول است که از متغیرهای ورودی به عنوان نتیجه قانون استفاده می کند و روش دفازی سازی در آن از نوع روش های دفازی سازی میانگین وزنی (WA)، مجموع

4-SARS
5-TSK
6-Sugeno

1-Coronaviruses
2-Wuhan
3-MERS

محدوده بازه خروجی قوانین اگر و آنگاه، I امین قانون برابر f^l می باشد.

$$\begin{aligned} \underline{f}^l &= \underline{\mu}_1^l(x_1) \wedge \underline{\mu}_1^l(x_2) \wedge \dots \wedge \underline{\mu}_n^l(x_n) \\ \overline{f}^l &= \overline{\mu}_1^l(x_1) \wedge \overline{\mu}_1^l(x_2) \wedge \dots \wedge \overline{\mu}_n^l(x_n) \end{aligned} \quad (6)$$

خروجی I امین قانون اگر و آنگاه از M قانون برابر است با $\overline{w}^l$:

$$w_L^l = \sum_{j=1}^n c_j^l x_j + c_0^l - \sum_{j=1}^n s_j^l x_j + s_0^l \quad (7)$$

$$w_R^l = \sum_{j=1}^n c_j^l x_j + c_0^l + \sum_{j=1}^n s_j^l x_j + s_0^l$$

محاسبه خروجی FLS با میانگین وزنی در رابطه (۸) آورده شده است.

$$\begin{aligned} W_L &= \frac{\sum_{j=1}^k \underline{f}^j * w_L^j}{\sum_{j=1}^k \underline{f}^j} \\ W_R &= \frac{\sum_{j=1}^k \overline{f}^j * w_R^j}{\sum_{j=1}^k \overline{f}^j} \end{aligned} \quad (8)$$

۵- شبیه سازی و نتایج

اصطلاحاتی که به طور کلی برای طبقه بندی بیماری کووید-۱۹ استفاده می شود عبارت است از بدون علامت، خفیف، متوسط، شدید و بحرانی، که شدت هر یک از این سطوح بیماری به ترتیب بیشتر از قبلی است. به طور کلی از علائم بیماری کووید-۱۹ می توان به خستگی مفرط و درد عضلات، اختلال بویایی و چشایی، سرفه خشک و تنگی نفس، تب، سردرد اشاره کرد. شدت وخامت مبتلایان بستگی به عواملی مانند میزان و مدت تماس و حجم ویروس ورودی و مقاومت بدن دارد. نکته ای که اهمیت سیستم خود ارزیابی را از طریق منطق فازی چند برابر می کند این است که ممکن است بیمار صرفاً در یک طبقه بندی جای نگیرد و استنتاج فازی این حالت را پوشش می دهد. که در ادامه به بررسی این علائم و فازی سازی آن ها خواهیم پرداخت.

یکی از فاکتورهای مهم ورودی سیستم فازی، سن افراد می باشد. سن بالای ۶۰ سال جزء افراد آسیب پذیر محسوب می شود که احتمال پیشرفت بیماری در آن ها افزایش می یابد. همه افراد بالای ۶۰ سال در گروه آسیب پذیر نیستند، اما در معرض خطر بیشتری از بیماری جدی قرار دارند. دیگر عواملی که تعیین کننده آسیب پذیری شخص به حساب می آید داشتن سابقه بیماری هایی همچون بیماری قلبی، ربوی یا کلیوی یا نقص ایمنی قابل توجه است. نتایج مطالعات نشان می دهد با وجود داشتن سابقه بیماری میزان مهلک بودن شرایط در افراد بالای ۶۰ سال خطرناک تر از افراد جوان تر است. در [۹] نشان داده شده است که مبتلایان با بیماری زمینه ای بالای ۶۰ سال ۴/۵٪ بیشتر دچار وضعیت بحرانی می شوند در حالی که این عدد برای افراد زیر ۶۰ سال ۱/۴٪ است. اگر بیمار در گروه آسیب پذیر است و تشخیص بیماری کووید-۱۹ خفیف است، باید مشاوره های لازم را

وزنی (WS) می باشد، همچنین سیستم استنتاج سوگنو به صورت MISO پیاده سازی می شود. نتایج قانون در سیستم استنتاج سوگنو به صورت صریح و خطی می باشد. هر قانون یک مدل فازی TSK به فرم رابطه (۱) می باشد:

$$\begin{aligned} R_j: & \text{IF } x_1 \text{ is } A_{j1} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_{j2} \\ & \text{AND } \dots x_n \text{ is } A_{jn} \text{ THEN } y \\ & = B_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (1)$$

$$(j = 1, 2, \dots, R)$$

که n تعداد متغیرهای ورودی (تعداد ویژگی ها)، R تعداد قواعد فازی (قانون)، A_{jn} مجموعه فازی متناظر با n امین متغیر ورودی برای I امین قانون فازی و B_j یک تابع ثابت از x_n است که معمولاً دارای یک فرم خطی ساده به صورت رابطه (۲) می باشد.

$$B_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = B_0 + B_1 x_1 + \dots + B_r x_n \quad (2)$$

خروجی نهایی سیستم فازی فوق به صورت رابطه (۳) قابل بیان است:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^R B_j(0) T_{i=1}^{m_j} \mu_{ij}(x_i)}{\sum_{j=1}^R T_{i=1}^{m_j} \mu_{ij}(x_i)} \quad (3)$$

که در آن μ_{ij} تابع تعلق برای مجموعه فازی A_{jn} است، $1 \leq m_j \leq n$ تعداد متغیرهای ورودی در بخش مقدم قوانین فازی است و T یک عملگر T-norm فازی می باشد. قوانین سیستم فازی سوگنو توابع تحلیلی و اعداد ثابت هستند. این ویژگی به سیستم اجازه می دهد تا دانش پیچیده را با تعداد قوانین کم بیان کند.

۴- الگوریتم استنتاج تاکاگی سوگنو نوع دو بازه ای

در یک مدل استنتاجی فازی سوگنو نوع دو بازه ای که شامل M قانون ورودی می باشد قوانین اگر و آنگاه به صورت رابطه (۴) تعریف می شود که $x_k = (k = 1, 2, \dots, n)$ متغیرهای زبانی مجموعه $\overline{w}^l$ خروجی I امین قانون اگر و آنگاه است. برای تبدیل خروجی فازی نوع دوم به فازی نوع اول از روش کاهش نوع استفاده می شود در این مقاله از الگوریتم KM و از محاسبات مرکز ثقل استفاده شده است و $\overline{C}_i^l (i = 0, 1, \dots, n)$ نتیجه خروجی استنتاج فازی نوع یک می باشد که در رابطه (۵) نشان داده شده است به گونه ای که $\overline{C}_i^l$ مرکز ثقل $\overline{C}_i^l$ و s_i^l نشان دهنده بسط تابع است [۸].

$$R^l: \text{IF } x_1 \text{ is } \overline{F}_1^l \text{ AND } x_2 \text{ is } \overline{F}_2^l \text{ AND } \dots \text{ AND } x_k \text{ is } \overline{F}_k^l \text{ THEN } \overline{w}^l \quad l = 1, \dots, M \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \overline{w}^l &= \overline{C}_0^l + \overline{C}_1^l x_1 + \overline{C}_2^l x_2 + \dots + \overline{C}_n^l x_n \\ \overline{C}_i^l &= c_i^l - s_i^l, c_i^l + s_i^l \end{aligned} \quad (5)$$

خروجی مجموعه فازی نوع دو بازه ای به صورت $\overline{F}_1^l (i = 0, 1, \dots, n)$ تعریف می شود که $\overline{\mu}_i^l = [\underline{\mu}_i^l, \overline{\mu}_i^l]$ است روابط استنتاج به ترتیب در (۶-۷) آورده شده است.

دریافت و خود را قرنطینه نماید و از تست های تشخیص عفونی و آنتی بادی در مراکز درمانی استفاده کند.

علائم بیماری کووید-۱۹ در دسته بدون علامت: این احتمال

وجود دارد که بخش بزرگی از افراد مبتلا به کووید-۱۹ باشند اما علائمی نداشته باشند. به نظر می رسد این اتفاق بیشتر در گروه های جوان تر و افراد سالم از جمله کودکان رخ می دهد. تحقیقات اولیه سازمان بهداشت جهانی نشان می دهد که ممکن است ۴۰-۵۰٪ موارد این گونه باشند. با این حال، گزارش هایی از دست دادن حس بویایی در افراد بدون علامت وجود دارد. ارتباط با فردی که دارای بیماری کووید-۱۹ است یکی از عواملی است که فرد ممکن است در دسته بدون علامت قرار گرفته باشد.

علائم بیماری کووید-۱۹ در دسته خفیف: این ویروس به طور

عمده دستگاه تنفسی و در درجه اول مجاری تنفسی را تحت تأثیر قرار می دهد. بیماران قرار گرفته شده در دسته خفیف علائم شبیه آنفلوآنزا را تجربه خواهند کرد. این علائم ممکن است شامل سرفه خشک و تب خفیف باشد بیماران ممکن است در حین ورزش دچار مشکلات تنفسی خفیفی شوند اما در اثر فعالیت روزانه مشکلات تنفسی نخواهند داشت. به نظر می رسد علائم به طور معمول حدود ۷-۱۰ روز طول می کشد. اکثریت قریب به اتفاق افراد مبتلا به عفونت خفیف یا بدون علامت نیازی به مراجعه به پزشک ندارند و می توانند علائم خود را در خانه درمان کنند.

علائم بیماری کووید-۱۹ در دسته متوسط: در حالی که

اکثریت افراد مبتلا به ویروس کرونا، بیماری خفیف یا بدون علامت را تجربه می کنند، برخی از افراد علائم و عوارض بسیار جدی تر و حتی تهدید کننده دارند. علائم کرونا متوسط همراه با التهاب در ریه ها است و با سرفه خشک مشخص می شود. بیماران مبتلا به کووید-۱۹ متوسط ممکن است دچار التهابی شوند که به سمت برونشیت^۱ حرکت می کند. تعداد تنفس و ضربان قلب آن ها، به خصوص اگر در حال حرکت باشند افزایش می یابد. ممکن است سرفه شدید تری نسبت به علائم خفیف داشته باشند. دمای بدن به احتمال زیاد به ۳۷/۸ درجه سانتی گراد می رسد یا از آن فراتر می رود. ممکن است در حین ورزش، حتی هنگام بالا رفتن از پله ها نفس نفس بزنند، اما نه به حدی که آزاد رهنده باشد. سرفه ممکن است به مدت چند روز تداوم یابد و در هر ساعت بارها سرفه کنند یا دچار اسهال شوند اما تهوع و استفراغ محتمل نیست خستگی سطحی از دیگر علائم دسته متوسط می باشد. به نظر می رسد که این شرایط برای بیماران دسته متوسط حدود ۷-۱۴ روز طول بکشد.

علائم بیماری کووید-۱۹ در دسته شدید: بیماری کووید-

۱۹ شدید به این معنی است که بیمار به ذات الریه مبتلا شده است، که التهاب

(ناشی از عفونت) ریه ها در کیسه های هوایی کوچک است. در این حالت ممکن است سطح اکسیژن کاهش یافته باشد بنابراین تمایل به نفس کشیدن سریع افزایش می یابد. در این شرایط معمولاً دمای بدن بالاست. در نتیجه از علائم این دسته می توان به تنفس سریع و کم عمق، ضربان قلب سریع، فشار خون پایین اشاره کرد.

علائم بیماری کووید-۱۹ در دسته بحرانی: در ذات الریه خیلی

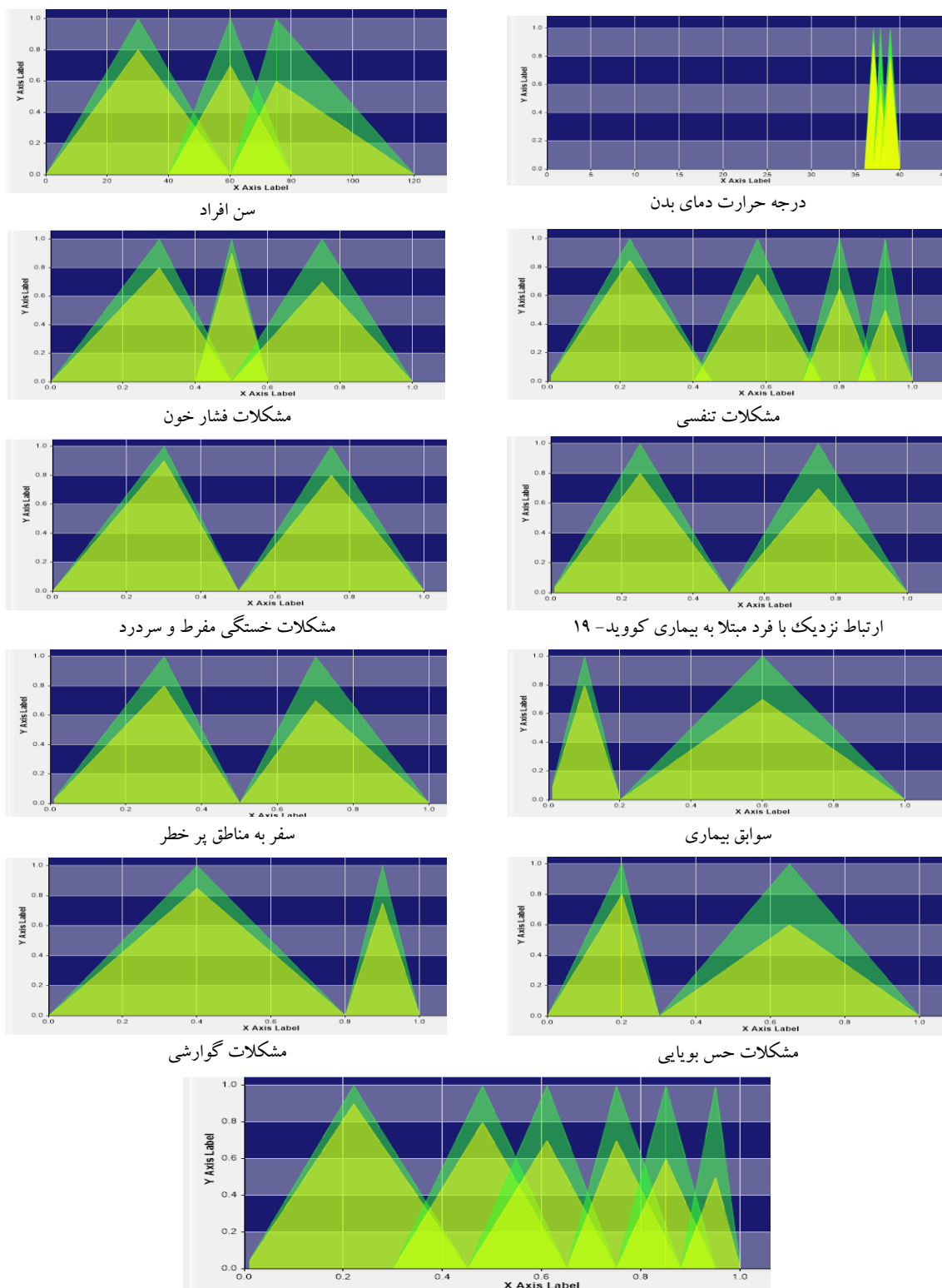
شدید، بیماری به نام^۲ ARDS (سندرم زجر تنفسی حاد) ایجاد می شود. در این شرایط بیمار نیاز به دستگاه تنفس مصنوعی دارد.^۳ بسیاری از این بیماران دچار سپسیس^۴ می شوند، و سایر اعضای بدن دیگر کار نمی کنند و وضعیت بسیار خطرناکی برای بدن رخ می دهد. تفاوتی که بین کووید-۱۹ شدید و بحرانی وجود دارد، توسط متخصص مراقبت های بهداشتی در بیمارستان تعیین می کند. اما به هر حال هر دو گروه نیاز به درمان فوری در بیمارستان دارند.

مراحل زیر برای تدوین مدل پیش بینی بیماری کووید-۱۹ مورد توجه قرار گرفته است: تقسیم بندی ورودی ها و خروجی به بازه های فازی، ساختار قوانین فازی بر اساس اطلاعات موجود، استفاده از قوانین فازی برای پیش بینی، در نهایت توابع عضویت^۵ فازی تدوین شده است.

در این مقاله بر مبنای اطلاعات منتشر شده از سازمان بهداشت جهانی و داده های دریافت شده از کلینیک تخصصی کرونا بیمارستان ابن سینا تهران توابع عضویت ورودی ها بدست آمده است. توابع عضویت فازی فاکتورهای ورودی و خروجی در شکل (۱) نشان داده شده است. پرسشنامه مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است.

در این مقاله از توابع عضویت مثلثی^۶ برای فازی سازی استفاده شده است و ۹۸ قاعده اگر آنگاه در بخش پایگاه قواعد بکاربرده شده است که شرح خلاصه ای از قواعد در جدول (۲) آورده شده است.

تعداد قوانین بستگی به تعداد ورودی ها و خروجی ها و رفتار سیستم مورد نظر دارد و سیستم با استفاده از متغیرهای کلامی به جای فرمول های ریاضی توصیف می شود. به گونه ای که با وضع این قوانین قادر به تشخیص و پیش بینی نوع وضعیت بیماری کووید-۱۹ خواهیم بود. در تعیین تابع عضویت فازی از ده زیر کلاس تب، سن، بیماری های زمینه ای، سابقه سفر به مناطق پر خطر از دید شیوع بیماری کووید-۱۹، سرفه خشک و مشکلات تنفسی، از دست دادن حس بویایی، احساس خستگی مفرط، ارتباط با فرد مشکوک به بیماری کووید-۱۹، فشار خون و مشکلات گوارشی استفاده شده است.



فاکتورهای خروجی تشخیص بیماری
 شکل ۱: توابع عضویت فاکتورهای ورودی و خروجی

جدول ۱: پرسشنامه غربالگری بیماری COVID-19						
۱. تب		کمتر از ۳۷ درجه ☐		بین ۳۷ تا ۳۸ درجه ☐		بیشتر از ۳۸ درجه ☐
۲. سن		کمتر از ۴۰ سال ☐		بین ۴۰ تا ۸۰ سال ☐		بیشتر از ۸۰ سال ☐
۳. بیماری‌های زمینه‌ای		ریوی ☐	قلبی ☐	دیابت ☐	کبد ☐	سرطان ☐ غیره ☐
۴. سابقه سفر به مناطق پر خطر از دید شیوع بیماری		بله ☐	خیر ☐			
۵. سرفه خشک و مشکلات تنفسی		سرفه خشک ☐		گلودرد ☐	ذات الریه ☐	مشکلات حاد تنفسی ☐
۶. از دست دادن حس بویایی		تشخیص رایحه نارگیل ☐ تشخیص رایحه نعناع ☐ تشخیص رایحه سیر ☐ تشخیص رایحه هل ☐ تشخیص رایحه رازیانه ☐				
۷. احساس خستگی مفرط		ندارم ☐		کمتر از ۷ روز ☐		بیشتر از ۷ روز ☐
۸. ارتباط با فرد مشکوک به بیماری کووید-۱۹		بله ☐	خیر ☐			
۹. مشکلات گوارشی		اسهال ☐	استفراغ ☐	خیر ☐		
۱۰. فشار خون		پایین ☐	بالا ☐	طبیعی ☐		

به طور خلاصه نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه ای از قواعد اگر-آنگاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش میدانی مورد بررسی می باشد. مرحله بعدی ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است سیستم های فازی مختلف از اصول و روش های متفاوتی برای ترکیب این قواعد استفاده می کنند. که در این مقاله از روش سوگنو نوع دو بازه ای استفاده شده است در استلزام منطقی سوگنو برای ساختار AND و OR روش Prod-Probor و برای غیر فازی کردن خروجی روش میانگین وزنی^۱ (WA) بکاربرده شده است.

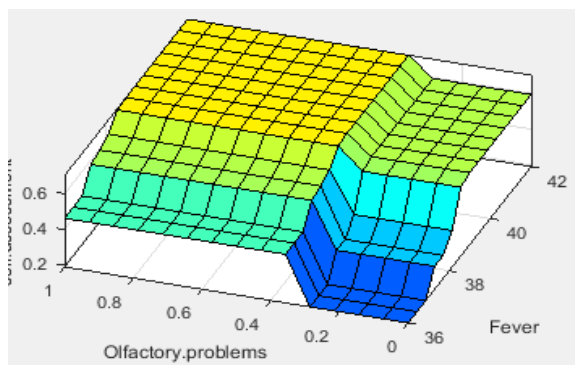
۶- نتایج تشخیص بیماری کووید-۱۹ با استفاده

از سیستم استنتاج فازی سوگنو نوع دو بازه ای

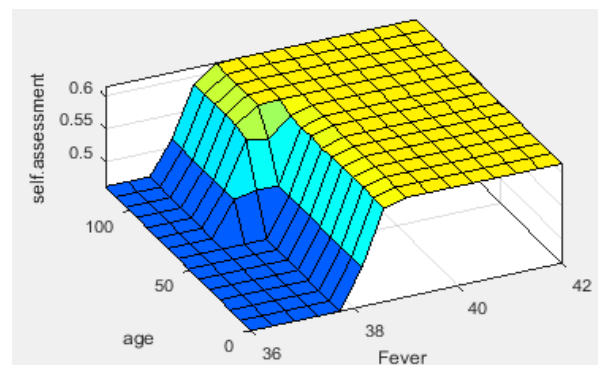
غربالگری بیماری کووید-۱۹ و تشخیص نوع آن با استفاده از نرم افزار MATLAB صورت گرفته است و از روش استنباطی سوگنو نوع دو برای خودارزیابی استفاده شده است. الگوریتم استنتاج سوگنو بیشتر در سیستم های کنترلی و سیستم هایی که احتیاج به محاسبات ریاضی دارند استفاده می شود خروجی سیستم استنتاج سوگنو خطی است و موتور استنتاج سوگنو انعطاف پذیر است و از دقت عملکرد بالایی برخوردار می باشد، زیرا فرایند دفازی سازی به زمان محاسبات کمی نیاز دارد، اما فقط برای تجزیه و تحلیل سیستم های کنترلی MISO خطی بهتر عمل می کند. شکل (۲) خروجی سیستم بر مبنای فاکتور دمای بدن و سن شخص را نشان می دهد. رنگ آبی پررنگ شرایط طبیعی و سلامت شخص را بیان می کند و هر چه به سمت بخش های زرد رنگ پیش می رویم احتمال خطر ابتلا به کووید-۱۹ بیشتر می شود. رنج در نظر گرفته شده برای دمای بدن بین ۳۶ تا ۴۲ درجه سانتی گراد است و برای سن رنج ۱ تا ۱۲۰ سال معیار سنجش قرار گرفته شده است. نتایج نشان می دهد که در دماهای پایین حتی اگر شخص دارای سن بالایی باشد احتمال ابتلا به بیماری کووید-۱۹ کم می باشد اما در دماهای بالا این احتمال افزایش می یابد و همان گونه که در

شکل (۲) مشاهده می شود سن فاکتور مهمی است به گونه ای که در سن های بالا احتمال ابتلا سریع تر اتفاق می افتد. در شکل (۳) نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور دمای بدن و مشکلات حس بویایی نشان داده شده است. نتایج به وضوح مشخص است که در دماهای پایین و بدون داشتن مشکلات بویایی خطر ابتلا کم است اما با به وجود آمدن مشکلات بویایی در صورت نداشتن تب نیز احتمال داشتن بیماری کووید-۱۹ افزایش می یابد و می توان گفت شخص در دسته بدون علامت قرار دارد. شکل (۴) نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور دمای بدن و مشکلات تنفسی را نشان می دهد. مشکلات تنفسی به چهار گروه سرفه های خشک، گلو درد، ذات الریه و سندرم زجر تنفسی حاد تقسیم شده است با توجه به اینکه تب یکی از فاکتورهای مهم برای شناسایی بیماری کووید-۱۹ است اما می توان مشاهده کرد در دماهای پایین احتمال سرفه خشک، ذات الریه و سندرم زجر تنفسی نیز مشاهده می شود پس می توان نتیجه گرفت که بالا نبودن تب بدن نشان دهنده مصونیت از بیماری نمی باشد اما می تواند نشان داد که افزایش دمای بدن احتمال خطر بیماری را به شدت افزایش می دهد. شکل (۵) نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور خستگی مفرط و ارتباط نزدیک با شخص دارای بیماری کووید-۱۹ را نشان می دهد در این نمودار مشخص است در صورت وجود خستگی مفرط اما بدون تماس نزدیک با شخص مبتلا، احتمال ابتلا به کووید-۱۹ بسیار کم است اما زمانی که درصد احتمال با شخص دارای بیماری افزایش می یابد خستگی مفرط می تواند یکی از فاکتورهای مهم برای تشخیص بیماری باشد.

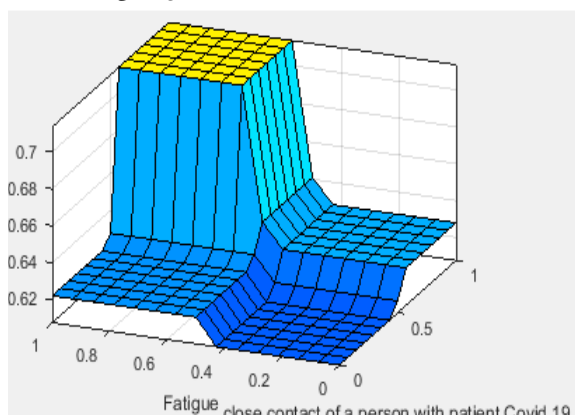
وضعیت بیمار	جدول ۲: خلاصه ای از قوانین اگر و آنگاه
سالم	اگر کاندید مورد نظر هیچ گونه علامت بیماری نداشته باشد و یا اگر فقط یک علامت بیماری به صورت خفیف داشته باشد به شرطی که به محیط‌های پر خطر مسافرت نکرده باشد و یا با افراد ناقل بیماری در تماس نباشد این کاندید را سالم در نظر خواهیم گرفت.
بدون علامت	اگر کاندید مورد نظر یکی از علائم بیماری را به صورت شدید داشته باشد و یا یکی از علائم بیماری را به صورت متوسط داشته باشد و همچنین به محیط‌های پر خطر مسافرت داشته باشد و یا با افراد ناقل بیماری در تماس باشد می تواند به عنوان کاندید بیماری از دسته بدون علامت قرار بگیرد.
متوسط	اگر کاندید مورد نظر بیش از دو علامت بیماری را نشان دهد به گونه ای که یکی از آن علائم شدید باشد اما مشکلات تنفسی در حد سرفه داشته باشد می تواند به عنوان کاندید بیماری از نوع متوسط در نظر گرفته شود.
شدید	اگر کاندید مورد نظر بیش از دو علامت بیماری را از خود نشان دهد به گونه ای که حداقل یکی از آن علائم شدید باشد و فرد دچار ذات الریه نیز شده باشد می تواند به عنوان کاندید بیماری از نوع شدید در نظر گرفته شود.
بحرانی	اگر کاندید مورد نظر بیش از دو علامت بیماری را در حد شدید از خود نشان دهد و دچار زجر تنفسی گردیده باشد بگونه ای که عملکرد سایر اندام های حیاتی دچار مشکل شود به عنوان کاندید بیاری از نوع بحرانی در نظر گرفته می شود.



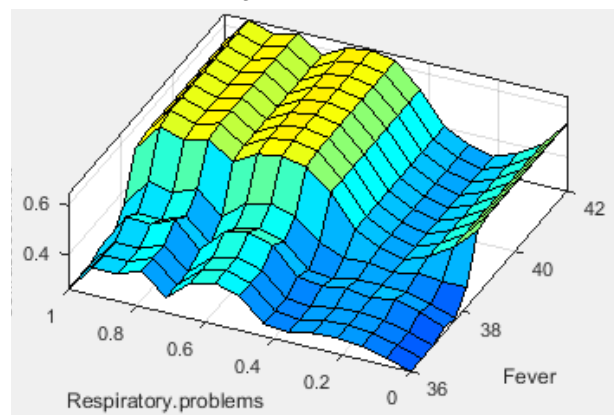
شکل ۳: نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور دمای بدن و مشکلات حس بویایی



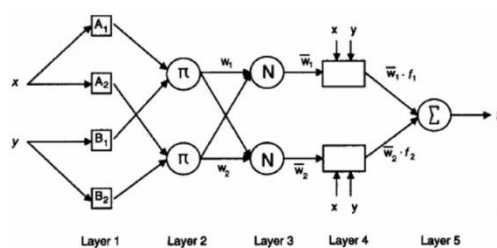
شکل ۲: نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور دمای بدن و سن افراد



شکل ۵: نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور خستگی مفروط و ارتباط نزدیک با شخص دارای بیماری کووید-۱۹



شکل ۴: نمودار نتایج ارزیابی عملکرد تشخیص خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ بر مبنای فاکتور دمای بدن و مشکلات تنفسی



شکل ۶: شمای ساده‌ای از مدل ANFIS [۱۰]

برای آموزش و تست استنتاج منطقی سوگنو از روش استنتاج فازی-عصبی تطبیقی ANFIS استفاده شده است که عملکرد ارتباط بین لایه‌های آن در شکل (۶) آورده شده است. الگوریتم ANFIS شامل پنج لایه است که به ترتیب شامل گره‌های ورودی، گره‌های قاعده، گره‌های متوسط، گره‌های نتیجه و گره‌های خروجی می‌باشند.

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق از روش های فازی سوگنو نوع دو به عنوان روش های کارا و مفید برای خود ارزیابی بیماری کووید-۱۹ استفاده شد. این روش ها به علت توانایی بالا در مدل سازی قادر به حل بسیاری از مسائل پیچیده هستند. امروزه کاربردهای فازی در طراحی های مختلف سیستم های غیرقطعی، نشان دهنده عملکرد قابل قبول و رشد سریع این سیستم ها است، هرچند که عملکرد الگوریتم های استنتاج فازی مشابه هم هستند اما رعایت تفاوت های آن ها در طراحی سیستم های فازی می تواند در خروجی سیستم مؤثر باشد، الگوریتم استنتاج سوگنو به خاطر داشتن دقت و انعطاف پذیری بالا طراحی سیستم های حساس و کنترلی استفاده می شود. نتایج نشان می دهد که مدل فازی سوگنو به ترتیب با ضریب همبستگی $R^2 = 0.94$ و مجذور مربعات خطا $MSE=0.045$ در مرحله آموزش و تست با استفاده از قوانین ساده فازی با دقت مطلوبی بیماری کووید-۱۹ را تشخیص دهد. نتایج مدل فازی سوگنو نوع دو بر اساس خروجی مدل قابل قبول بوده است به طوری که ضریب همبستگی مدل سوگنو در هر مرحله از اجرای دقت بالایی مدل را نشان می دهد.

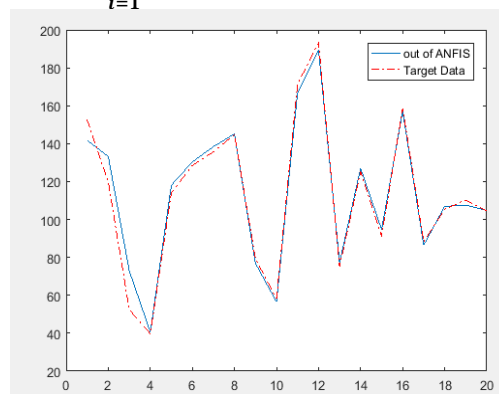
مراجع

- [1] Shchelkanov, M. Y., Popova, A. Y., Dedkov, V. G., Akimkin, V. G., & Maleyev, V. V. (2020). History of investigation and current classification of coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae). *Russian Journal of Infection and Immunity*, 10(2), 221-246.
- [2] Song, Z., Xu, Y., Bao, L., Zhang, L., Yu, P., Qu, Y., ... & Qin, C. (2019). From SARS to MERS, thrusting coronaviruses into the spotlight. *Viruses*, 11(1), 59.
- [3] Adly, A. S., Adly, A. S., & Adly, M. S. (2020). Approaches based on artificial intelligence and the internet of intelligent things to prevent the spread of COVID-19: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 22(8), e19104.
- [4] Long, C., Xu, H., Shen, Q., Zhang, X., Fan, B., Wang, C. & Li, H. (2020). Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT. *European journal of radiology*, 108961.
- [5] Larsen, J. R., Martin, M. R., Martin, J. D., Kuhn, P., & Hicks, J. B. (2020). Modeling the Onset of Symptoms of COVID-19. *Frontiers in public health*, 8, 473.
- [6] Herrera-Viedma, E. (2015). Fuzzy sets and fuzzy logic in multi-criteria decision making. The 50th anniversary of Prof. Lotfi Zadeh's theory: Introduction. *Technological and Economic Development of Economy*, 21(5), 677-683.
- [7] Kasabov, N. K., & Song, Q. (2002). DENFIS: dynamic evolving neural-fuzzy inference system and its application for time-series prediction. *IEEE transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), 144-154.

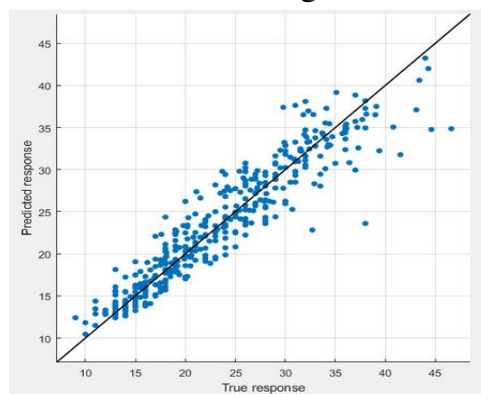
هر گره دارای تابعی با پارامترهای قابل تنظیم یا ثابت است که با داده های ورودی، درجه عضویت، قوانین و توابع عضویت ورودی و خروجی انتخاب می گردد [۱۰]. روش عملکرد در مرحله آموزش به این صورت است که با اصلاح پارامترهای درجه عضویت بر اساس میزان خطای قابل قبول، مقادیر ورودی به مقادیر واقعی نزدیک تر می شوند این الگوریتم قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه بندی دارد. قانون یادگیری آن برپایه الگوریتم پس انتشار خطا با نگرش بر حداقل کردن میانگین مربعات خطا بین خروجی شبکه و خروجی واقعی می باشد. در نهایت به منظور بررسی تخمین عملکرد از معیارهای آماری ضریب همبستگی و مجذور مربعات خطا استفاده می شود. که در روابط (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. مجذور مربعات خطا روشی برای برآورد میزان خطاست و هرچه مقدار آن به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهنده میزان خطای کمتری است. شکل (۷) مجذور مربعات خطا را نشان می دهد که هدف به خوبی خروجی را دنبال می کند و نتایج رگرسیون خطی با شعاع گوسین ۰/۹ در شکل (۸) آورده شده است. نتایج نشان می دهد مدل، توانایی پیش بینی و ارزیابی بیماری کووید-۱۹ به صورت خودارزیابی را دارد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (10)$$



شکل ۷: نتایج مجذور مربعات خطای مدل



شکل ۸: نتایج مدل رگرسیون خطی مدل

- [8] Pham, B. H., Ha, H. T., & Ngo, L. T. (2012, December). Learning rule for TSK fuzzy logic systems using interval type-2 fuzzy subtractive clustering. In Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning (pp. 430-439). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] Verity, R., Okell, L. C., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N., & Dighe, A. (2020). Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *The Lancet infectious diseases*.
- [10] Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.