Machine Learning Algorithms to Prevent the Spread of Infectious Diseases based on Effective Features in the Diagnosis of Covid-19

Seyedeh Zohreh Hosseini
PhD of IT Management; Department of IT Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran, Iran;
Email: zohreh.hoseini@gmail.com

Reza Radfar*
PhD; Department of Technology Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran, Iran;
Professor; Industrial Management; Department of Technology Management; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran, Iran Email: radfar@gmail.com

Amir Ashkan Nasiripour
Associate Professor; Healthcare management; Medical Sciences and Technologies Department; Science and Research Branch; Islamic Azad University; Tehran, Iran Email: nasiripour@srbiau.ac.ir

Ali Rajabzadeh Ghatary
Professor; Business Management; Industrial Management Department; Tarbiat Modares University; Tehran, Iran;
Email: alirajabzadeh@modares.ac.ir

Iranian Journal of Information Processing and Management

Received: 20, Jun. 2022 **Accepted: 14, Mar. 2023**

Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc)
ISSN 2251-8223
eISSN 2251-8231
Indexed by SCOPUS, ISC, & LISTA
Vol. 39 | No. 2 | pp. 657-698
Winter 2024
https://doi.org/10.22034/jipm.2023.705602

Abstract: This study aimed to develop IoT-based machine learning algorithms care and improvement while detecting and predicting real-time epidemics.
The target disease is COVID-19 due to its importance and epidemic.
The research method is based on design science. The research approach is forward-looking, so the mechanism of disease transmission and its effective characteristics enable us to make predictions about the disease and thus design disease control strategies and health care.
The research was carried out in a seven-step process. IoT features were extracted in the present study with experts› opinions. The features obtained in the experiment of two different algorithms, ‘k nearest neighbor’ and ‘decision tree,’ were created on the data to determine the best model. After selecting the best depth validation of the model were

* Corresponding Author

performed by confusion matrix analysis.
The results of running k-nearest neighborhood and Decision Tree algorithms for the prediction of COVID-19 indicated an accuracy of > 98%. Higher sensitivity (99%) was obtained in the Decision Tree algorithm, which is very important diagnosing COVID-19 and indicates the minimum number of false negatives in the test results.

Keywords: Artificial Intelligence, COVID-19, Infectious Diseases, Internet of Things, Machine Learning

الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیشگیری از انتشار بیماری‌های واگیر بر پایه ویژگی‌های مؤثر در تشخیص کووید-۱۹

سیده زهره حسینی
دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت فناوری اطلاعات؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران، ایران zohreh.hoseini@gmail.com

رضا رادفر
دکتری تخصصی مدیریت صنعتی؛ استاد؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران، ایران؛ پدیدآور رابط radfar@gmail.com

امیراشکان نصیری‌پور
دکتری تخصصی مدیریت بهداشت و درمان؛ دانشیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران، ایران nasiripour@srbiau.ac.ir

علی رجب‌زاده قطری
دکتری تخصصی مدیریت بازرگانی صنعتی؛ استاد؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران، ایران؛ alirajabzadeh@modares.ac.ir

پژوهش‌نامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ مقاله برای اصلاح به مدت ۱۷ روز نزد پدیدآوران بوده است.

چکیده: این مطالعه با هدف توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی بر پایه اینترنت اشیا انجام شده است که ضمن تشخیص و پیش‌بینی همه‌گیری در زمان واقعی با استفاده از مکان افراد، بر مراقبت و بهبود نیز تأکید می‌کند. بیماری هدف در این پژوهش با توجه به اهمیت و فراگیری، کووید-۱۹ است. پژوهش حاضر بر اساس نوع گردآوری داده‌ها، از نوع پژوهش‌های کیفی بوده و با توجه به توسعه الگوریتم‌ها، روش پژوهش مبتنی بر علم طراحی است. رویکرد تحقیق آینده‌نگر است، به‌طوری که مکانیزم انتقال بیماری و ویژگی‌های تأثیرگذار آن ما را قادر به پیش‌بینی‌هایی در مورد بیماری و در نتیجه، طرح استراتژی‌های کنترل بیماری و مراقبت‌های بهداشتی می‌کند.

این پژوهش در یک فرایند ۷ مرحله‌ای انجام شد. ویژگی‌های اینترنت اشیا در پژوهش حاضر با نظر خبرگان استخراج شد و ویژگی‌های به‌دست‌آمده در آزمایش دو الگوریتم مختلف «k نزدیک‌ترین همسایگی»

نشریهٔ علمی | رتبهٔ بین‌المللی
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)
شاپا (چاپی) ۸۲۲۳-۲۲۵۱
شاپا (الکترونیکی) ۸۲۳۱-۲۲۵۱
نمایه در LISTA، ISC، و SCOPUS
jipm.irandoc.ac.ir
دورهٔ ۳۹ | شمارهٔ ۲ | ص‌ص ۶۵۷-۶۹۸
زمستان ۱۴۰۲
https://doi.org/10.22034/jipm.2023.705602

و «درخت تصمیم» بر روی داده‌ها برای تعیین بهترین مدل ایجاد شد. پس از انتخاب بهترین عمق و بهترین همسایگی در الگوریتم‌ها، اعتبار و تصدیق مدل با تحلیل ماتریس ابهام انجام شد. نتایج اجرای الگوریتم‌ها برای پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹، دقت بالاتر از ۹۸ درصد را نشان دادند. حساسیت بالاتر (۹۹ درصد) که برای تشخیص بیماری کووید-۱۹ اهمیت بالایی دارد و نشان‌دهنده حداقل موارد منفی کاذب در نتایج آزمون است، در الگوریتم درخت تصمیم به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا، بیماری‌های واگیر، کووید-۱۹، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی

۱. مقدمه

همه‌گیری بیماری‌های عفونی بیش از هر علت دیگری باعث مرگ انسان‌ها در تاریخ شده است (Edwards 2017). در دنیایی که جابه‌جایی مردم و کالاها بیشتر از هر زمان دیگری به هم پیوسته است، شیوع بیماری همه‌گیر نشان‌دهنده یک چالش مهم مراقبت‌های بهداشتی است. تحرک اجتماعی و مکانی[1] پیشرفت کرده و انتشار جغرافیاییِ بیماری‌ها را به‌طور فزاینده‌ای آسان کرده است؛ به‌طوری که پاتوژن‌های[2] نوظهور می‌توانند به‌سرعت ظاهر شده و گسترش یابند (Astill et al. 2018).

با توجه با مهم بودن مسئله سلامت در حوزه بیماری‌های واگیر، وجود سیستمی به‌منظور پیش‌بینی و کنترل همه‌گیری‌ها لازم است و نقش سیستم کنترلی در این بین اهمیت زیادی دارد؛ زیرا پیشگیری از شیوع همه‌گیری می‌تواند افزون بر ارزش والای انسانی در جوامع، برای نظام‌های سلامت سودآوری اقتصادی نیز داشته باشد (Altintas 2018؛ حسن‌نژاد دیوکلائی ۱۳۹۶).

جهان همچنان با تهدیدهای طولانی‌مدت و تکرار مجدد بیماری‌های عفونی روبه‌روست. این تهدیدها از نظر شدت و احتمال بسیار متفاوت هستند. همچنین، بیماری‌های همه‌گیر افزون بر مرگ‌ومیر، مجموعه‌ای پیچیده از عوارض اجتماعی و اقتصادی را به همراه دارند. شیوع‌های اخیر نشان می‌دهند که سیستم بهداشت جهانی با وضعیت موجود نمی‌تواند در برابر مجموعه‌های پویا از تهدیدات بیماری‌های عفونی محافظت مؤثری داشته باشد. به همین دلیل، توسعه روش‌های تشخیص سریع برای کنترل همه‌گیری‌ها ضروری است.

1. social and spatial mobility
2. pathogens

برای کنترل همه‌گیری کووید-۱۹ در مناطق مختلف، مدیریت مناسب بیماران مشکوک به این بیماری، شناسایی و جداسازی فوری منبع عفونت، قطع مسیر انتقال و جلوگیری از انتقال ویروس از بیماران بالقوه یا ناقلین بسیار مهم است (Hamzah et al. 2020).

به‌دلیل فقدان هرگونه استراتژی درمانی خاص، پیشگیری و فاصله اجتماعی به‌عنوان بهترین استراتژی دفاعی ممکن در برابر بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ در زمان نگارش این مقاله تعیین شده است. با وجود این، نیاز به فاصله اجتماعی، دولت‌های سراسر جهان را وادار به افزایش قرنطینه کرده است که این یک عارضه بزرگ در اقتصاد جهانی است. طبق تخمین‌های ارائه‌شده، امکان دارد همه‌گیر کووید-۱۹ طی دو سال، اقتصاد جهانی را بیش از ۵/۵ تریلیون دلار آمریکا سقوط داده باشد (Chamola et al. 2020).

مسئله مهم این است که روش‌های موجود پاسخ‌گوی تشخیص سریع و به هنگام بیماری‌ها نیستند و در حال حاضر، علم همه‌گیرشناسی سنّتی با دو چالش عمده روبه‌رو شده است: مورد اول اینکه کیفیت و جزئیات داده‌ها برای مدل‌سازی معمولاً مطلوب نیست (اطلاعات ما از وضعیت سلامتی افراد کم است و همین داده‌های کم هم در بازه‌های زمانی بلندمدت به‌روزرسانی می‌شوند) و مورد دوم، سناریوی همه‌گیرشناسی (چگونگی تأثیر همه‌گیری‌ها بر اثرات فصلی، سابقه سلامت افراد، جمعیت‌شناسی، سوابق واکسیناسیون و عوامل فرهنگی عمومی در مورد بهداشت و تعاملات اجتماعی) بسیار پیچیده است (Farrahi, Emonet & Cebrian 2015). اگرچه مدل‌هایی به کمک ریاضیات برای به‌دست آوردن عبارات تحلیلی برای تعدادی از پارامترهای مهم مانند تعداد کل عفونت‌ها توسعه پیدا کرده، اما این مدل‌ها نه می‌توانند پیچیدگی فعل و انفعالات انسانی را (که به‌عنوان یک مکانیسم اصلی انتقال بیماری‌های عفونی عمل می‌کنند)، در نظر بگیرند، و نه هیچ توضیح علیّتی ارائه دهند. با درنظر گرفتن چالش‌های جدید، سیستم بهداشت عمومی در همه سطوح به توسعه فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا برای حمایت از آمادگی سلامت عمومی نیاز دارد (McDonald 2015).

به همین دلیل، تمرکز ما در این مقاله به استفاده از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بیماری کووید-۱۹ و کمک به قطع زنجیره انتقال است.

موج جدید فناوری باعث تغییر پارادایم در صنعت بهداشت و درمان شده است. تغییر پارادایم از مراقبت‌های بهداشتی واکنش‌پذیر به پیشگیرانه ممکن است منجر به کاهش کلی هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی و سرانجام منجر به رشد اقتصادی شود (Chakraborty et al. 2021).

این رویکردها در زمینه‌های علوم رایانه و تشخیص‌های پزشکی اعمال شده است؛ اما در حوزه همه‌گیرشناسی بیماری‌های عفونی به نسبت نوآورانه است (Rahman et al. 2020). در حالت کلی می‌توان مهم‌ترین چالش مدل‌های همه‌گیرشناسی کلاسیک را نبودِ ابزار مناسب برای جمع‌آوری و تحلیل به هنگام اطلاعات حیاتی در نظر گرفت (Hamad 2018).

با مروری بر پژوهش‌های مرتبط مشخص شد مدل‌هایی که بر اساس رویکردهای ریاضی ساخته شده‌اند، بر پایه ساده‌سازی سیستم‌های پیچیده‌تر هستند. همچنین هر کدام از مطالعات انجام‌شده در یک بخش خاص تمرکز داشته (Luz et al. 2020) و یا برای حل صورت مسئلهٔ محدود و مشخصی ارائه شده‌اند (Ramos, Ivorra & López 2018). بنابراین، این تحقیق با پرکردن خلأهای موجود در ۴ بخش عمده می‌تواند پیشگیری از بیماری‌های واگیر را بهبود ببخشد:

- **شیوع مجدد بیماری‌های واگیر**

افزون بر اینکه با گذشت زمان، بیماری‌های قدیمی به‌طور کامل از بین نمی‌روند، همیشه جایی برای بیماری‌های جدید نیز وجود دارد (Bellini et al. 2019). بیماری‌های قدیمی مانند وبا، طاعون و تب زرد اغلب برمی‌گردند، و بیماری‌های جدید همواره از راه می‌رسند تا به آن‌ها بپیوندند (WHO 2018) (Bloom & Cadarette 2019).

- **سرعت انتشار و اهمیت ردیابی در زمان واقعی**

همه‌گیری‌های جدید الگویی عمیقاً نگران‌کننده دارد. همه‌گیری‌ها در قرن بیست‌ویکم سریع‌تر و بیشتر از هر زمان دیگری گسترش می‌یابد. شیوع‌هایی که پیش‌تر بومی بودند، اکنون می‌توانند بسیار سریع جهانی شوند؛ بنابراین، فردی که از یک طرف جهان پرواز می‌کند، می‌تواند طی چند ساعت و حتی قبل از نشان دادن علائم، بیماری جدیدی را به نقطه دیگر معرفی کند و به این ترتیب، به دور از منشأ آن میکروب، محل انتشار جدیدی پیدا می‌شود.

تشخیص بیماری عفونی تقریباً به‌طور مشخص یک فعالیت پس از واقعیت است و جلوگیری از شیوع آن نیاز به اطلاعات و تجزیه‌وتحلیل در زمان واقعی دارد. هوش مصنوعی با تسهیل در تشخیص زودهنگام بیماری می‌تواند انتشار بالقوه بیماری به دیگران را، به‌ویژه در زمانی که افراد از بیماری خود آگاه نیستند، متوقف کند (Wilson & Brownstein 2008).

◆ **بودجه و هزینه**

با توجه به آنچه گفته شد، همه‌گیری‌های قرن بیست‌ویکم می‌توانند به‌طور بالقوه بر تعداد افراد بیشتری تأثیر بگذارند و بنابراین، می‌توانند تأثیر مخربی بر اقتصاد کشور آسیب‌دیده داشته باشند و به اقتصاد جهانی سرایت کنند و سفر، تجارت و معیشت را مختل کنند. همه‌گیری بر اقتصاد هم کشورهای توسعه‌یافته و هم در حال توسعه تأثیر بالایی دارد (Durán-Vega et al. 2019).

◆ **محدودیت نمونه‌گیری و روش‌های تشخیصی**

علائم بالینی در کووید-۱۹ غیراختصاصی است و به‌راحتی قابل افتراق از سایر پنومونی[1]های اکتسابی نیست. بنابراین، یافته‌های رادیولوژیک و تست‌های آزمایشگاهی و روش‌های ترکیبی جدید در تشخیص و پیگیری بیماری نقش مهمی دارند (جدول ۱).

آزمایش ژنتیکی RT-PCR، از طرف سازمان‌های بهداشت جهانی و مرکز کنترل بیماری‌های عفونی، به‌عنوان دقیق‌ترین روش تشخیصی کووید-۱۹ معرفی شده است (کلاهدوز و همکاران ۱۳۹۹؛ Cheng et al. 2020). اگرچه روش RT-PCR مزایای زیادی دارد، اما از معایب آن می‌توان به هزینه‌های بالای آزمایش و امکانات مورد نیاز جهت انجام این آزمایش از جمله دستگاه‌های PCR اشاره کرد. از معایب دیگر آن می‌توان زمان‌بر بودن این آزمایش از لحظه نمونه‌برداری تا انتقال نمونه به آزمایشگاه مورد تأیید و انجام آزمایش در آن محل اشاره نمود که چندین روز زمان می‌برد. افزون بر این، مراحل آماده‌سازی و سنجش نمونه به نیروی انسانی آموزش‌دیده نیاز دارد (Diao et al. 2021).

جدول ۱. مقایسه عملکرد روش‌های مختلف آزمایشگاهی برای تشخیص بیماری کووید-۱۹ (بخشی، اصلانی و عابدی ۱۴۰۰)

روش تشخیصی	مدت‌زمان	ویژگی (درصد)	حساسیت (درصد)	مزایا	معایب
تشخیص بر مبنای اسیدنوکلئیک	۴ تا ۶ ساعت	۹۶	نامشخص	حساسیت بالا، امکان عملکرد در مقیاس بزرگ	نیاز به کارشناسان حرفه‌ای و آموزش‌دیده مجرب، تجزیه‌وتحلیل داده‌های دشوار، گران‌قیمت، دقت کمتر، نتایج منفی یا مثبت کاذب

1. pneumonia

روش تشخیصی	مدت‌زمان	ویژگی (درصد)	حساسیت (درصد)	مزایا	معایب
تشخیص بر مبنای تعیین توالی ژن	نامشخص	نامشخص	نامشخص	شناسایی جهش	نیاز به کارشناسان حرفه‌ای و آموزش‌دیده مجرب، وقت‌گیر، هزینه‌بر و تجزیه‌وتحلیل پیچیده
تشخیص بر مبنای آنتی‌بادی	۱۵ دقیقه	۹۰/۶۳	۸۸/۶۶	در دسترس بودن، نیاز به تخصص کمتر	دشواری در تشخیص به‌موقع، تشخیص تنها پس از عفونت (بعد از ۳ تا ۶ روز برای IgM و ۸ روز برای IgG)
تشخیص بالینی	۲ روز	نامشخص	نامشخص	عدم نیاز به کیت تشخیصی و تجهیزات پیچیده	نیاز به متخصصان و پرسنل آموزش‌دیده، مشکلات تشخیص زودهنگام

اینترنت اشیا در حوزه‌های مختلف پزشکی مانند سیستم‌های مراقبت از راه دور بیماران، سیستم‌های هشداردهنده اورژانس، برنامه‌های تناسب اندام، کنترل دارو، کنترل بیماری‌های مزمن، کنترل سالمندان و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chakraborty et al. 2021; Abbott & Barbosa 2019). استفاده از اینترنت اشیا برای کشورهای در حال توسعه اولویت بالایی دارد، زیرا اینترنت اشیا تکنولوژی کم‌قدرتی است که برای مکان‌های با منبع قدرت نامنظم نظیر کشورهای در حال توسعه مناسب بوده، نیازی به شبکه پرسرعت اینترنتی ندارد (عجمی و همکاران ۱۳۹۰). افزون بر اینترنت اشیا، آزمایش‌های تشخیصی و غربالگری توسعه‌یافته بر اساس هوش مصنوعی[1] نیز برای تشخیص کووید-۱۹ بسیار مفید خواهند بود. در این زمینه، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین جزو مهم‌ترین ابزارهای تشخیصی هس‌تند (Daszak, Olival & Li 2020) . هوش مصنوعی را می‌توان شبیه‌سازی رفتار هوشمند در عامل‌ها به شیوه‌ای تعریف کرد که ما به‌عنوان انسان، آن را باهوش یا شبیه انسان درنظر بگیریم. مفاهیم اصلی هوش مصنوعی شامل عواملی است که ویژگی‌هایی از جمله دانش، استدلال، حل مسئله، ادراک، یادگیری، برنامه‌ریزی و توانایی دست‌کاری و حرکت را توسعه می‌دهند (Kacprzyk 2018). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به‌عنوان یک ابزار غربالگری اولیه برای موارد مشکوک مورد استفاده قرار گیرند (Ting et al. 2020).

1. artificial intelligence

۲. مرور پیشینهٔ پژوهش

کاربردهای هوش مصنوعی مبتنی بر داده‌ها نه‌تنها برای پیش‌بینی، تشخیص و مدیریت بیماری، بلکه برای پیشگیری از انتشار بیماری و تحقق درمان‌های دیجیتال کمک می‌کند (Adriana 2019). الگوریتم‌های رایانه‌ای برای هوش مصنوعی تا حد زیادی بر تکنیک‌های یادگیری ماشین به معنای وسیع، از جمله پردازش زبان طبیعی تکیه دارند. تکنیک‌های یادگیری ماشین مجموعه متنوعی از الگوریتم‌ها را تشکیل می‌دهند که می‌توانند به تکنیک‌های یادگیری تحت نظارت، بدون نظارت و تقویتی طبقه‌بندی شوند (Roth 2018).

در سال ۲۰۰۱، برای نخستین‌بار، «گاندساس[1] و مونتگومری»[2] در ایالات متحده، با استفاده از پروتکل برنامه‌های بی‌سیم[3]، و اینترنت به یک لپ‌تاپ متصل شدند تا داده‌های پزشکی از راه دور از جمله فشارخون، نبض، فرکانس تنفس، رطوبت، اشباع اکسیژن، و الکتروکاردیوگرام را، در «هر زمان و هر مکان» به‌دست آورند (Song 2020).

در سال ۲۰۰۲، با ترکیب حسگرهای بی‌سیم و فناوری اینترنت، پزشکان توانستند از این فناوری برای مشاهده و پیشگیری از بیماری استفاده کنند. به‌عنوان مثال، در یک جمعیت پرخطر با نارسایی احتقانی قلب، استفاده از سیستم نظارت بی‌سیم بر قلب و ریه می‌تواند علائم اولیه بیماری تنفسی را کشف کند (Cyient 2021).

در سال ۲۰۰۴، شرکت Virtua Medical سیستم‌های RFID را در چهار بیمارستان برای ردیابی و مدیریت هزاران بیمار نصب کرد. دو سال بعد، یک آزمایش بالینی با استفاده از میکروتگ[4] RFID قابل کاشت در نیوجرسی آمریکا انجام شد. پزشکان می‌توانند اطلاعات بیماری مزمن را از تراشه[5] کاشته شده در قسمت بازوی بیماران مشاهده کنند (Halamka 2006).

سنجش بی‌سیم و فناوری اطلاعات همچنین مبنای استفاده از اینترنت اشیا بود و در بیماری‌های تنفسی پیشرفت‌های زیادی ایجاد کرد. به‌عنوان مثال، یک سنجش بی‌سیم عملکرد ریوی موفق در بیمارستان «ژونگشان»[6] ایجاد شده است که بیماران توسط آن می‌توانند نظارت بر عملکرد ریه خود را از خانه تکمیل کنند. همچنین، پزشکان می‌توانند تغییرات عملکرد ریه بیمار را مشاهده کرده و درمان را بر اساس داده‌ها، به‌صورت همزمان و آنلاین توصیه کنند (Song ert al. 2020).

---

1. Alex Gandsas
2. Kevin Montgomery
3. wireless application protocol (WAP)
4. microtag
5. chip
6. Zhongshan

در سال ۲۰۱۱، «لی» نحوه استفاده از مدل آرما[1] برای پیش‌بینی تعداد شیوع جدید بیماری نیوکاسل[2] در طول دوره را نشان دادند (Li 2011).

همچنین، در سال ۲۰۱۲، یک مدل ترکیبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی برای پیش‌بینی شیوع دنگی[3] بر اساس ویژگی‌های بیماری و میزان بارندگی پیشنهاد شده است (Husin 2012).

«لی»[4] و همکاران نیز روشی را پیشنهاد کردند که هر رویداد گزارش‌شده را با خاص‌ترین اطلاعات مکانی موجود در یک گزارش خبری مرتبط می‌کند. این نه‌تنها برای سیستم‌های مراقبت سلامت، بلکه برای سایر سیستم‌های پردازش رویدادمحور نیز مفید است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میدان‌های تصادفی شرطی[5] و یادگیری ماشین آماری روش‌هایی بودند که با به‌دست آوردن مقدار دقت برابر ۸۵/۵ درصد، بهترین عملکرد را داشتند (Lee et al. 2016).

در مطالعه‌ای دیگر از علائم و روش مبتنی بر مکان برای شناسایی همه‌گیری‌های بیماری استفاده شده است. این مطالعه همچنین نشان داد که روش طبقه‌بندی مبتنی بر KNN را می‌توان برای شناسایی همه‌گیری‌های بیماری با استفاده از رویکرد مبتنی بر علائم و مکان استفاده کرد. KNN همچنین برای شناسایی یک دسته همه‌گیری بالقوه جدید مفید است (Duangchaemkarn et al. 2017).

با پیشرفت روش‌های هوش مصنوعی و ترکیب آن با اینترنت اشیا، تشخیص بیماری‌ها سرعت بیشتری گرفت و انواع روش‌های فناوری در این زمینه به‌کار رفتند. به‌عنوان مثال، چین در سال ۲۰۱۹، کمیته هوش مصنوعی علیه سرطان ریه را برای تشخیص و درمان به‌موقع تأسیس کرد. هدف این کمیته تأیید و آموزش بیشتر پزشکان تحصیل‌کرده برای استفاده از هوش مصنوعی در تشخیص زودهنگام سرطان ریه است (Song et al. 2020).

مدل‌های طبقه‌بندی نیز استفاده زیادی برای تشخیص و ردیابی بیماری‌های واگیر دارند. به‌عنوان مثال «ویجایاکومار»[6] و همکاران، سیستمی برای طبقه‌بندی اطلاعات شخصی، علائم/ نشانه‌های بیماری و اطلاعات متنی مبتنی بر محاسبات مه[7] برای تشخیص و پیشگیری از بیماری‌های انتقالی از پشه، مانند تب دنگی توسعه دادند. ارزیابی تجربی این

1. ARMA
2. Newcastle
3. Dengue fever
4. Lee
5. conditional random field (CRF)
6. Vijayakumar
7. fog computing

تحقیق نشان داد که بهترین عملکرد را با دقت طبقه‌بندی ۹۵/۹ درصد می‌توان با استفاده از KNN به‌دست آورد (Vijayakumar 2019).

همچنین، در بیش از ۵ مقاله مرتبط، از فناوری اطلاعات جغرافیایی برای استخراج موقعیت مکانی موارد و بررسی تغییرات زمانی و مکانی همه‌گیری بیماری‌های واگیر استفاده شده است (Acarali et al. 2019؛ رهنما و بازرگان ۱۳۹۹؛ اسدآبادی و همکاران ۱۳۹۱؛ Addante et al. 2019؛ Li 2018).

با مرور مقالات مرتبط، مهم‌ترین مدل‌های یادگیری ماشین را می‌توان به رگرسیون و طبقه‌بندی تقسیم کرد، مقالات بر پایه روش طبقه‌بندی رشد خوبی را در سال‌های اخیر نشان می‌دهند (جدول ۲).

جدول ۲. پرکاربردترین روش‌های یادگیری ماشین در زمینه بیماری‌های واگیر و مطالعات مرتبط

روش یادگیری	کاربرد	مطالعات مرتبط
رگرسیون	پیش‌بینی و ردیابی شیوع	Wang (2010); Wang, Sun & Hanzo (2016); Verelst, Willem & Beutels (2016); Tapak et al. (2019); Stylidou et al. (2020); Pineda et al. (2015); (Osthus, Hickmann, Caragea, Higdon, & Del, 2017), (Mishra, Keshri, Mallick, & Mishra, 2018), (Hill, Rand, Nowak, & Christakis, 2010), (Foughali, Fathallah, & Frihida, 2018)
طبقه‌بندی	پیش‌بینی و ردیابی شیوع	(Zhifang Liao, 2020), (Xu, et al., 2020), (Wei Tse Li, 2020), (Venkatramanan, et al., 2021), (Thary & Zidan, 2021), (Shi, Xia, & Liu, 2013), (Roy & Sarkar, 2016), (Rahimi, Gandomi, G. Asteris, & Chen, 2021), (Orbann, Sattenspiel, Miller, & Dimka, 2017), (Muhammad Adnan Khan, 2020), (Kim & Ahn, 2021), (Amir Hossein Amiri Mehra, 2020), (Dong, Guan, Lepri, & Qiao, 2019)

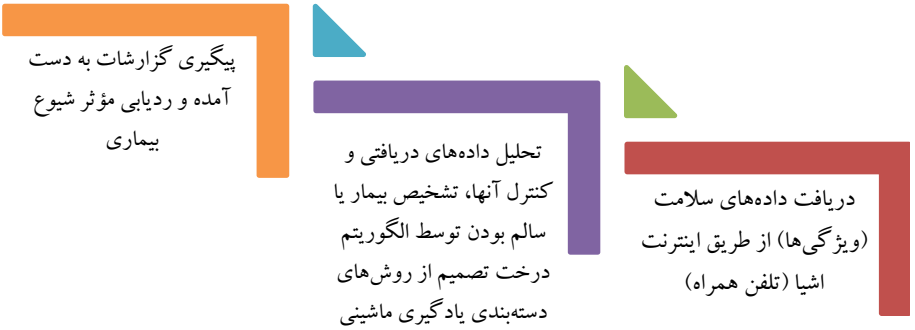
۳. روش پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش بر اساس نوع گردآوری داده‌ها، کیفی بوده و با توجه به ارائه مدل، مبتنی بر علم طراحی[1] بوده است. ابزارهای مورد استفاده در ارائه این تحقیق عبارت‌اند از: فیش‌برداری الکترونیکی از منابع کتابخانه‌ای و همچنین، نمونه‌برداری از مجموعه‌مقالات حوزه مطالعه و استفاده از پرسشنامه. در این پژوهش از روش فراترکیب برای شناسایی فاکتورهای مؤثر اینترنت اشیا برای کنترل شیوع بیماری و همچنین از روش «دلفی» برای تعیین نهایی متغیرهای مؤثر در مدل استفاده شده است.

1. design science

نرم‌افزار «مندلی»[1] برای مدیریت اسناد و به‌روزرسانی مراجع استفاده شد. از نرم‌افزارهای «اس‌پی‌اس‌اس»[2]، «نت لوگو»[3]، «جوپیتر»[4]، «دیتااسپل»[5] و «آناکاندا»[6] برای مدیریت و تحلیل داده‌ها و ارائه الگوریتم نهایی استفاده شده است. در «پایتون» نسخه ۳/۸ از کتابخانه‌های تخصصی «نامپی»[7] و «مث»[8] برای اعمال ریاضی، «پانداس»[9] آماده‌سازی داده‌ها، «اسکیپی»[10] و «اسکیت-لرن»[11] برای مدل‌سازی و تعریف الگوریتم و «متپلاتلیب»[12] برای رسم نمودارها و نتایج استفاده شد.

در مرحله اول، اینترنت اشیا برای گرفتن داده‌های بهداشتی از مکان‌های مختلف بیمارآلوده و مدیریت داده‌ها استفاده می‌شود. ویژگی‌هایی که در این مقاله به آن‌ها اشاره می‌شود، با توجه به مقالات مرتبط آن‌هایی هستند که از طریق اینترنت اشیا به‌سادگی جمع‌آوری می‌شوند. در مرحله بعد، سیستم مدیریت مجازی به کنترل داده‌ها و پیگیری گزارش‌های به‌دست‌آمده کمک می‌کند. در مرحله بعد، با به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی یادگیری ماشین بیماری یا سالم بودن فرد پیش‌بینی می‌شود و می‌توان از ردیابی مؤثر بیماران و همچنین موارد مشکوک به‌طور کامل مطمئن شد (شکل ۱).



شکل ۱. روند اجرای اینترنت اشیا و یادگیری ماشین برای مقابله با همه‌گیری کووید-۱۹

این پژوهش در ۶ بخش اصلی اجرا شده است.

۳-۱. مرور سیستماتیک

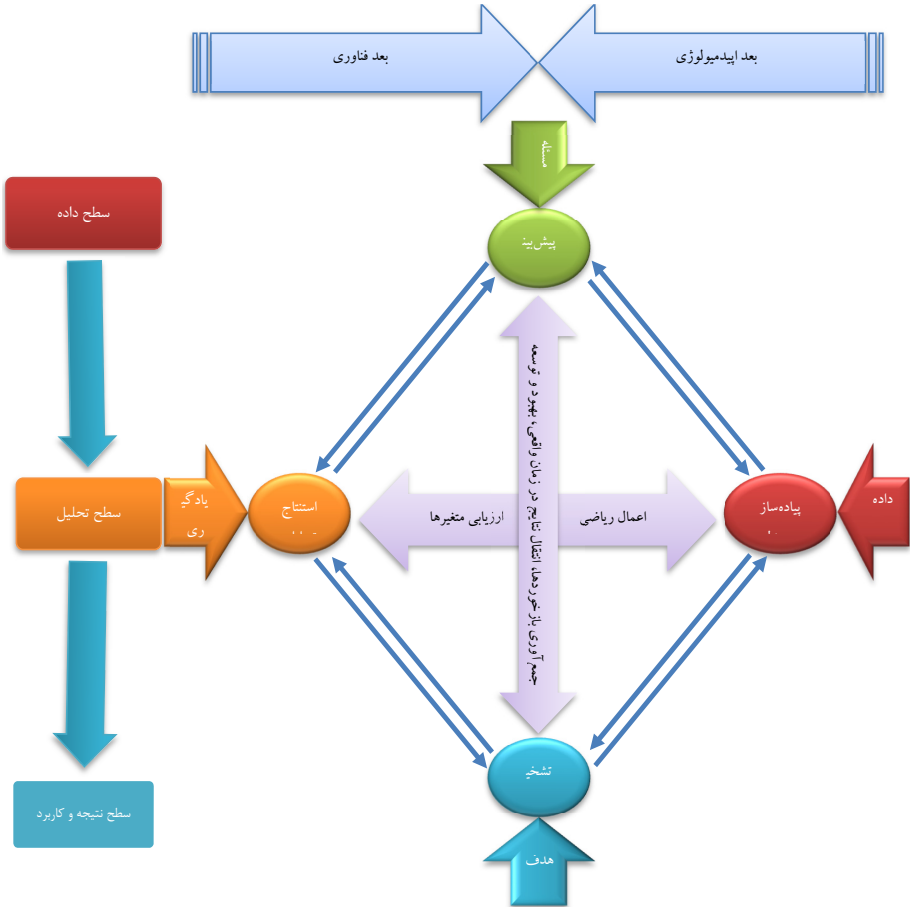
کلیدواژه‌های تشخیص، اینترنت اشیا، بیماری‌های واگیر، پیش‌گویی[13]، پیش‌بینی[14]، مدل‌سازی کمی[15]، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در هر دو زبان فارسی و انگلیسی

1. Mendeley
2. SPSS
3. NetLogo
4. Jupyter
5. DataSpell
6. Anaconda
7. NumPy
8. Math
9. Pandas
10. SciPy
11. Scikit-learn
12. Matplotlib
13. prediction
14. forecasting
15. quantitative modelling

موضوع اصلی جست‌وجو بودند. سپس، مقالات مهم پیش‌بینی بیماری‌های واگیر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ شناسایی و خلاصه آن‌ها مطالعه شد.

۳-۲. بررسی داده‌ها و انتخاب مدل پایه

در این مرحله مدل مفهومی با نگرش سیستمی طراحی شد. چنانکه پیش‌تر گفته شد، از آنجا که بحث سلامت دارای پیچیدگی‌های زیادی است (ابعاد، پارامترها، فعل و انفعالات و تعاملات، سیاست‌ها و قوانین)، می‌توانند به‌عنوان یک سیستم پیچیده مطرح گردد. بنابراین، مدلی را ارائه می‌دهیم که با استفاده از متغیرهای محیطی و فردی، احتمال بیماری را در یک فرد پیش‌بینی می‌کند (شکل ۲).

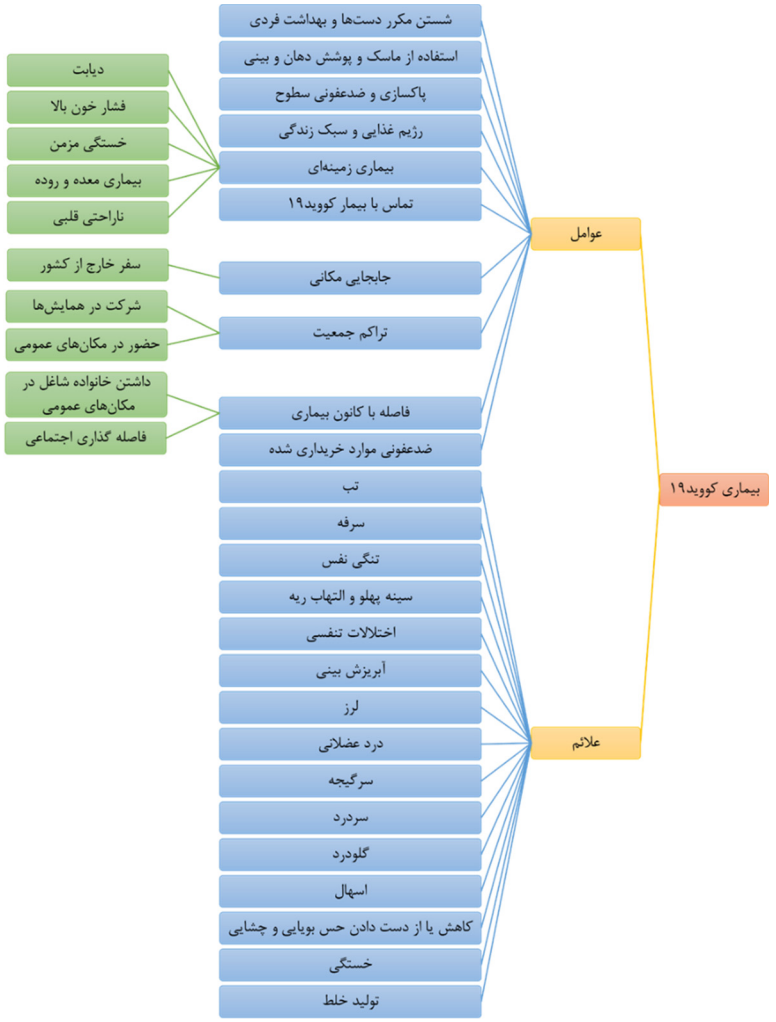


شکل ۲. روند اجرای اینترنت اشیا و یادگیری ماشین برای مقابله با همه‌گیری کووید-۱۹

در این پژوهش بیماری کووید-۱۹ با توجه به اهمیت از نظر استراتژی درمان، تأثیر اقتصادی و منابع داده، به‌عنوان بیماری هدف برای مقابله و ردیابی انتخاب شد. در این پژوهش انتخاب متغیرها یا انتخاب صفت»[1] به انتخاب زیرمجموعه‌ای از مجموعه نمونه اصلی اشاره دارد که در مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده در دسترس است. برای پیش‌بینی بیماری‌های عفونی، کمیت، کیفیت و به‌موقع بودن داده‌ها به‌عنوان چالش‌های مهم هستند. اگرچه عوامل بسیاری می‌توانند به‌عنوان فاکتورهای بیماری‌زایی کووید-۱۹ و علائم بیماری درنظر گرفته شوند، اما تعداد کمی از داده‌های همه‌گیرشناسیکی به‌طور مداوم گزارش می‌شوند. بنابراین، در این پژوهش بر روی ویژگی‌هایی تمرکز شده است که می‌توانند از طریق ابزارهای اینترنت اشیا گزارش شوند و داده‌های آن‌ها در طول دوره شیوع در دسترس هستند.

برای این هدف، اولین مرحله در پیش‌پردازش، استخراج دسته‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کووید-۱۹ است که می‌توانند از طریق اینترنت اشیا در دسترس باشند. با این محدودیت، مهم‌ترین ویژگی‌ها از مقالات استخراج شد و ۳۱ ویژگی برای راهیابی به مرحله بعد به‌دست آمد. شکل ۳، این ویژگی‌ها را نشان می‌دهد.

1. attribute selection



شکل ۳. ویژگی‌های استخراج‌شده با هدف پیش‌بینی کووید-۱۹

۳-۳. تعیین متغیرها و ایجاد/ انتخاب دیتاست

با توجه به دشواری اولیه تشخیص کووید-۱۹ در بیولوژی و پاتوبیولوژی، حتی در آزمایش‌ها واکنش زنجیره‌ای پلیمراز[1]، انتخاب فاکتورهای مناسب برای بهبود قابلیت اطمینان و اعتبار پیش‌بینی در مدل پژوهش حاضر بسیار مورد توجه بوده است.

1. polymerase chain reactiom

تعیین متغیرها به روش «دلفی» انجام شد. با توجه به اینکه هدف از طراحی سیستم تشخیص و پیشگیری خودکار است، بنابراین بهترین افرادی که می‌توانند برای نزدیک کردن تفکر سیستم به تفکر متخصصان تصمیم بگیرند، انتخاب شدند.

پرسشنامه‌ای که در اختیار خبرگان قرار گرفت، بر اساس ۳۱ ویژگی به‌دست‌آمده از مقالات از سراسر جهان طراحی شد، دستاوردها و نتایج به‌دست‌آمده از آن را می‌توان به افراد دیگر تعمیم داد و با توجه به اینکه همه پژوهش‌های مورد استناد در موقعیت، زمان و جامعه متفاوتی انجام شدند، پرسشنامه قابل تعمیم بوده و روایی آن قابل قبول است.

در این مرحله کاهش ابعاد با استفاده از نظر خبرگان در ۴ مرحله نشست مجازی انجام شد و با استخراج مجموعه‌ای از متغیرهای اصلی، تعداد متغیرها کاهش پیدا کرد. اعضای نشست «دلفی» برای این پژوهش به‌صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی و ترکیبی از نمونه‌گیری غیراحتمالی و ترکیبی از روش‌های هدفمند و زنجیره‌ای برگزیده شدند. بر این اساس، ابتدا ۱۸ نفر از افرادی که پزشک یا متخصص بیماری‌های واگیر با حداقل ۵ سال سابقه کار بودند، شناسایی شدند. ۱۷ نفر از واجدین شرایط به‌طور کامل داوطلبانه و با هدف ارتقای دانش همه‌گیرشناسی و با کمک به سلامت جامعه مشارکت خود را اعلام کردند (جدول ۳). همچنین برای حفظ پایایی پرسشنامه، از ضریب هماهنگی «کندال» در دورهای نشست استفاده شد.

دیتاست بین‌المللی، شامل ۵۴۳۵ رکورد با ویژگی‌های مورد تأیید خبرگان در پژوهش استفاده شد.

(پیوست ۱، جزئیات برگزاری نشست‌ها در روش دلفی و پیوست ۲، پرسشنامه)

جدول ۳. ویژگی‌های اعضای گروه «دلفی»

نوع تخصص و سابقه کاری و پژوهشی مرتبط	تعداد افراد	میانگین سابقه (به سال)
دکتری تخصصی همه‌گیرشناسی	۵	۱۲/۵
کارشناس ارشد همه‌گیرشناسی	۲	۸/۵
پزشک عمومی	۹	۱۵/۵
دکتری تخصصی ویروس‌شناسی	۴	۱۱
کارشناس ارشد ویروس‌شناسی	۱	۸
دکتری تخصصی میکروبیولوژی	۲	۷/۵

۳-٤. انتخاب روش یادگیری

مطالعات مقالات مربوط به بیماری‌های عفونی از ژانویه ۲۰۱۹ تا دسامبر ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری نظارت‌شده برای تشخیص الگوی بیماری‌های عفونی در حال ظهور و پیش‌بینی ابتلا به کووید-۱۹ استفاده شده‌اند. همچنین الگوریتم‌های درخت تصمیم و نزدیک‌ترین همسایگی و بردار پشتیبان تصمیم بیشترین کاربرد را دارند (شکل ۴). برای توسعه پژوهش و دستیابی به مدل،

شکل ٤. فراوانی الگوریتم‌های استفاده‌شده در پیش‌بینی بیماری‌ها

از ۲ الگوریتم کاربردی روش دسته‌بندی[1] یعنی k نزدیک‌ترین همسایگی[2] و درخت تصمیم[3] استفاده شد. برای توسعه مدل از «پایتون» نسخه ۳/۸ استفاده شد.

۳-۵. به‌کارگیری روش یادگیری و پیاده‌سازی مدل

پس از انتخاب مدل پایه و الگوریتم یادگیری، مراحل زیر برای پیاده‌سازی مدل انجام شد. ابتدا پاکسازی و تبدیل داده‌ها[4] و قالب‌بندی و تبدیل داده‌ها انجام شد. آنگاه نرمال‌سازی داده‌ها انجام شد. با توجه به نوع الگوریتم و تحقیقات مرتبط، در این مرحله،

1. classification
2. K Nearest Neighbor (KNN)
3. decision tree (DT)
4. transforming data

مجموعه تست شامل ۲۰ درصد داده‌ها (۱۰۸۷ رکورد) و مجموعه آموزش شامل ۸۰ درصد (۴۳۴۷ رکورد) از دیتاست دسته‌بندی شدند.

۳-٦. ارزیابی و بهبود الگوریتم

یکی از مهم‌ترین مراحل پس از طراحی و ساخت یک مدل یا یک الگوریتم، ارزیابی کارایی آن است. دو شاخص مهم برای ارزیابی آماری عملکرد نتایج در آزمون‌های طبقه‌بندی باینری حساسیت و ویژگی هستند. زمانی که بتوان داده‌ها را به دو گروه مثبت و منفی تقسیم کرد، عملکرد نتایج یک آزمایش که اطلاعات را به این دو دسته تقسیم می‌کند با استفاده از شاخص‌های حساسیت و ویژگی قابل اندازه‌گیری و توصیف است (روشن، یعقوبی و مؤمنی ۱۴۰۰).

افزون بر دقت پیش‌بینی، در برخی از مسائل تشخیص صحیح نمونه‌های مربوط به یکی از دسته‌ها برای ما اهمیت بیشتری دارد. ارزیابی ما با ۲ معیار تعیین می‌شود: اولین مورد این است که آیا این روش پیشنهادی قادر به شناسایی بیماری کووید-۱۹ است یا خیر (ویژگی)، و مورد دوم اینکه دقت آن چه میزان است (حساسیت)؛ به گفتهٔ دیگر مقیاس‌پذیر است یا خیر.

برای ارزیابی نتایج، مقادیر دقت، حساسیت و ویژگی محاسبه شد. افزون بر این، برای ارزیابی اثربخشی و عملکرد بهتر، از روش ماتریس ابهام[1] (Stehman 1997) استفاده شد.

در این پژوهش، تعلق به دسته افراد بیمار، مثبت و عدم تعلق به این دسته، منفی درنظر گرفته شد. هر نمونه یا فردی در واقع، متعلق به یکی از کلاس‌های مثبت یا منفی است. بنابراین، مطابق جدول ۴، برای هر نمونه داده یکی از چهار حالتی که در ادامه بیان می‌شود، ممکن است اتفاق بیفتد:

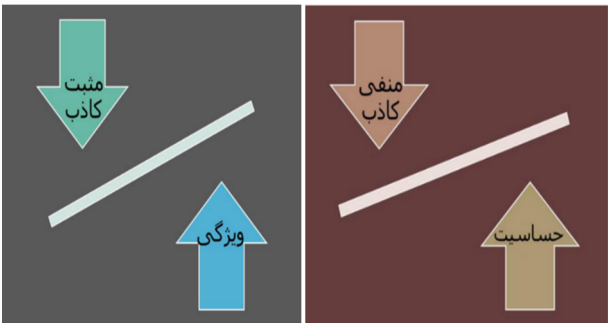
مثبت صحیح[2]، منفی کاذب[3]، منفی صحیح[4]، مثبت کاذب[5].

جدول ٤. حساسیت و ویژگی و ماتریس ابهام

	دسته پیش‌بینی شده			
	منفی	مثبت		
بعد حساسیت	منفی کاذب	مثبت صحیح	مثبت	دسته واقعی
بعد ویژگی	منفی صحیح	مثبت کاذب	منفی	

1. confusion matrix
2. true positive
3. false negative
4. true negative
5. false positive

با توجه به توضیحات ارائه شده، برای به‌دست آوردن بهترین الگوریتم‌ها، تنها به نتایج دقت اکتفا نشده و در ارزیابی نهایی، ترکیبی از دقت و حساسیت و ویژگی به‌کار رفته است. با توجه به اینکه هدف نهایی پژوهش حاضر تشخیص و پیشگیری از بیماری است، الگوریتمی بهتر است که نتایج منفی کاذب آن صفر و یا نزدیک به آن باشد. در پروژه حاضر، روی حساسیت تأکید بیشتری است، زیرا افراد مشکوک به ابتلا به کووید-۱۹ باید به‌سرعت بدانند که به عفونت آلوده شده‌اند یا خیر، تا بتوانند خود را ایزوله کنند، تحت درمان قرار گیرند، و به افرادی که در تماس نزدیک با آن‌ها قرار داشته‌اند، اطلاع دهند (شکل ۵).



شکل ۵. رابطه حساسیت و ویژگی در تشخیص بیماری

جدول یا ماتریس ابهام نتایج حاصل از طبقه‌بندی را بر اساس اطلاعات واقعی، نمایش می‌دهد. بر اساس اطلاعات این جدول، معیارهای مختلف ارزیابی دسته‌بندی و اندازه‌گیری دقت تعریف می‌شوند: پارامتر دقت معمول‌ترین معیار اندازه‌گیری کیفیت یک الگوریتم است. این پارامتر میزان تشخیص صحیح الگوریتم در تشخیص دسته‌ها را نشان می‌دهد و بر اساس ماتریس ارائه‌شده در بالا، به شکل زیر در فرمول ۱، تعریف می‌شود:

فرمول ۱) محاسبه پارامتر دقت $$\text{دقت} = (TP + TN) / (TP + FN + FP + TN)$$

پارامتر دیگر، حساسیت است که به معنای موارد مثبتی است که الگوریتم آن‌ها را به‌درستی به‌عنوان نمونه مثبت تشخیص داده است. این پارامتر به‌صورت فرمول ۲، محاسبه می‌شود:

فرمول ۲) محاسبه پارامتر حساسیت $\text{حساسیت} = TP / (TP + FN)$

در واقع، حساسیت معیار مهم ارزیابی الگوریتم برای پیش‌بینی و تشخیص بیماری است، زیرا مشخص می‌کند که الگوریتم، به چه اندازه در تشخیص تمام افراد مبتلا به بیماری موفق بوده است.

در نقطه مقابل پارامتر حساسیت، در مواقعی دقت تشخیص دسته منفی مهم است. پارامتری که عموماً در کنار حساسیت بررسی می‌شود، پارامتر ویژگی است که به چگونگی عملکرد الگوریتم در تشخیص طبقه‌بندی‌های نادرست اشاره دارد. ویژگی به معنای نسبتی از موارد منفی است که آزمایش، آن‌ها را به‌درستی به‌عنوان نمونه منفی تشخیص داده است. این پارامتر به‌صورت فرمول ۳، محاسبه می‌شود:

فرمول ۳) محاسبه پارامتر ویژگی $\text{ویژگی} = TN / (TN + FP)$

در این مرحله ماتریس ابهام و پارامترهای دقت، حساسیت و ویژگی برای هر دو الگوریتم محاسبه شد.

در این پژوهش ما تلاش کردیم که حداکثر صحت را از نتایج به‌دست آوریم. به این منظور، الگوریتم‌های یادگیری ماشین را تنظیم کردیم. این تنظیم برای الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایگی با تغییر k و در الگوریتم درخت تصمیم با تغییر عمق جست‌وجو انجام شد.

٤. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

از مجموع ۳۲۰ سند مرتبط به زبان‌های فارسی و انگلیسی که در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ در حوزه تشخیص و پیشگیری از بیماری‌های واگیر به‌دست آمد، ۶۱ سند (۱۹ درصد) در سال ۲۰۲۲ منتشر شده‌اند. رشد سریع مستندات از سال ۲۰۱۵، می‌تواند نشان‌دهندهٔ کاربردی شدن حوزه‌های مختلف فناوری اطلاعات مانند اینترنت اشیا و یادگیری ماشین در زمینه سلامت عمومی و پیشگیری از بیماری‌های واگیر باشد.

در مرحله دوم پژوهش، با توجه به اهمیت جهانی نوع بیماری واگیردار برای بررسی کووید-۱۹ انتخاب شد و با تمرکز بر روی روش کار و متغیرهای هر تحقیق، با استفاده از روش فراترکیب، مجموعه‌ای از متغیرها برای طراحی پرسشنامه (۳۱ ویژگی مؤثر در پیشگیری

و پیش‌بینی این بیماری) از مقالات استخراج شد.

در مرحله بعد، ویژگی‌های نهایی با استفاده از ضریب هماهنگی «کندال» به‌دست آمد (پیوست ۱ و ۲). این ضریب برای پاسخ‌های اعضا در دور سوم و چهارم ۰/۶۲۳ بود که با توجه به اینکه تعداد اعضای نشست بیش از ۲۰ نفر است، این میزان از ضریب کندال، کاملاً معنادار به‌حساب می‌آید. در جدول ۵، ویژگی‌های نهایی به‌دست‌آمده از خبرگان ارائه شده است.

جدول ۵. ویژگی‌های نهایی استخراج‌شده در پیشگیری و پیش‌بینی کووید-۱۹ با استفاده از اینترنت اشیا

ردیف	ویژگی	میزان تأثیر
۱	تماس با بیمار کووید-۱۹	خیلی زیاد
۲	سفر خارج از کشور	خیلی زیاد
۳	سرفه	خیلی زیاد
۴	گلودرد	خیلی زیاد
۵	اختلالات تنفسی	خیلی زیاد
۶	آبریزش بینی	خیلی زیاد
۷	تب	خیلی زیاد
۸	تنگی نفس	خیلی زیاد
۹	شرکت در همایش‌ها	خیلی زیاد
۱۰	سینه‌پهلو و التهاب ریه	خیلی زیاد
۱۱	سردرد	خیلی زیاد
۱۲	استفاده از ماسک	خیلی زیاد
۱۳	دیابت	خیلی زیاد
۱۴	حضور در مکان‌ها عمومی	زیاد
۱۵	فشارخون بالا	زیاد
۱۶	پاکسازی و ضدعفونی‌کردن سطوح	زیاد
۱۷	ناراحتی قلبی	زیاد
۱۸	داشتن خانواده شاغل در مکان‌های عمومی	زیاد
۱۹	بیماری معده و روده	زیاد
۲۰	خستگی مزمن	زیاد

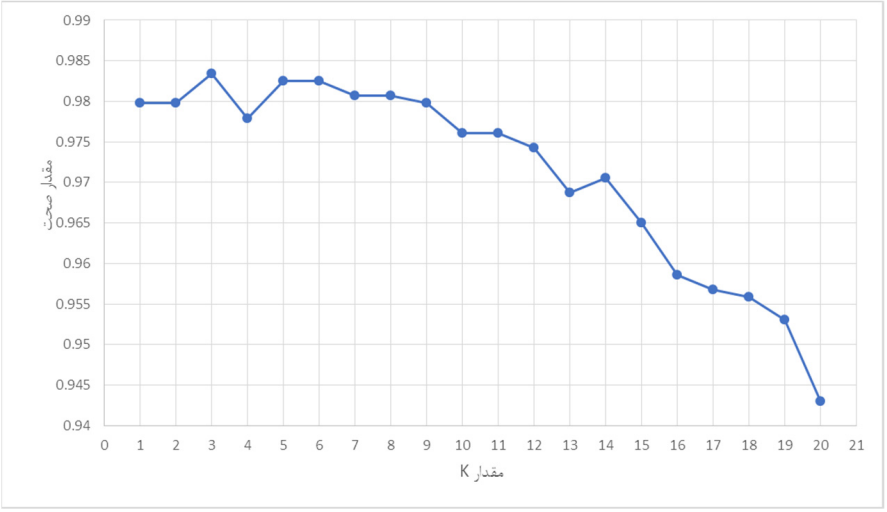
با توجه به مناسب بودن داده‌ها، در نتایج پاکسازی هیچ ردیفی از داده‌ها حذف نشد و در نهایت، ۵۴۳۴ رکورد پاکسازی شدند. در مرحله بعد، داده‌ها با هدف یادگیری نظارت‌شده در دو دسته تست (۱۰۸۷ رکورد) و یادگیری (۴۳۴۷ رکورد) تقسیم شدند.

شکل ۶، نشان می‌دهد که در الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایگی، مقادیر k از ۱ تا ۲۰ همسایگی محاسبه شد و مطابق شکل ۷، بهترین دقت در k برابر ۲ (۰/۹۸) به‌دست آمد.

KNN (K nearest neighbor) multi dimensional Algorithm for predict :

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn import metrics

# Choose best K for algorithm :
K = {}
for k in range(1 , 21) :

    neighbor = KNeighborsClassifier(n_neighbors = k).fit(X_main , Y_main)

    # Y_test :
    Y_test_hat = neighbor.predict(X_test)

    # append accuracy to dictionary :
    K[str(k)] = metrics.accuracy_score(Y_test , Y_test_hat)
```

شکل ٦. محاسبه الگوریتم برای kهای مختلف از ۱ تا ۲۰ همسایگی



شکل ۷. نتایج مقادیر صحت برای kهای مختلف

مطابق شکل ۸، در اجرای الگوریتم درخت تصمیم جست‌وجو از عمق ۵ تا بیشترین عمق محاسبه شد و بهترین دقت در عمق۷ و ۱۱ (۰/۹۸) به‌دست آمد که در شکل ۹، قابل مشاهده است.

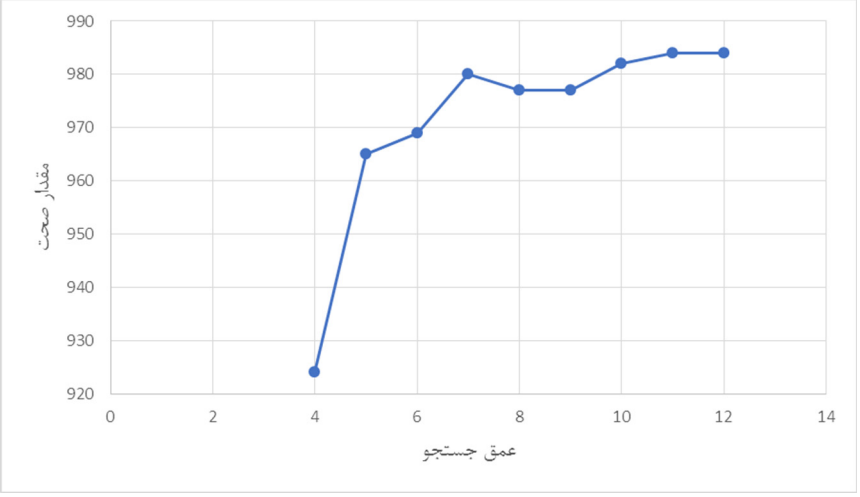
Decision Tree algorithm :

```
In [84]: from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier

         # X , Y are normalize .
         # We have X_test , X_main , Y_test , Y_main

In [85]: DecTree = DecisionTreeClassifier(criterion= 'entropy', max_depth=5)
         DecTree

Out[85]: DecisionTreeClassifier(criterion='entropy', max_depth=5)
```

شکل ۸. محاسبه الگوریتم درخت تصمیم برای عمق برابر ۵

ارزیابی الگوریتم‌ها در این پژوهش با ۲ معیار تعیین می‌شود. اولین مورد این است که آیا این روش پیشنهادی قادر به شناسایی بیماری کووید-۱۹ است یا خیر (ویژگی)، و دوم اینکه دقت آن چه میزان است (حساسیت)، به گفتهٔ دیگر، مقیاس‌پذیر است یا خیر.

در ارزیابی الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایگی برای به‌دست آوردن بهترین مقدار k، مقادیر دقت با هم مقایسه شدند، بالاترین مقدار دقت برابر ۹۸ درصد به‌دست آمد. همان‌طور که در جدول ۶، و شکل ۷، مشخص است، برای مقایسه بهترین همسایگی افزون بر بالاترین دقت، ماتریس ابهام رسم شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

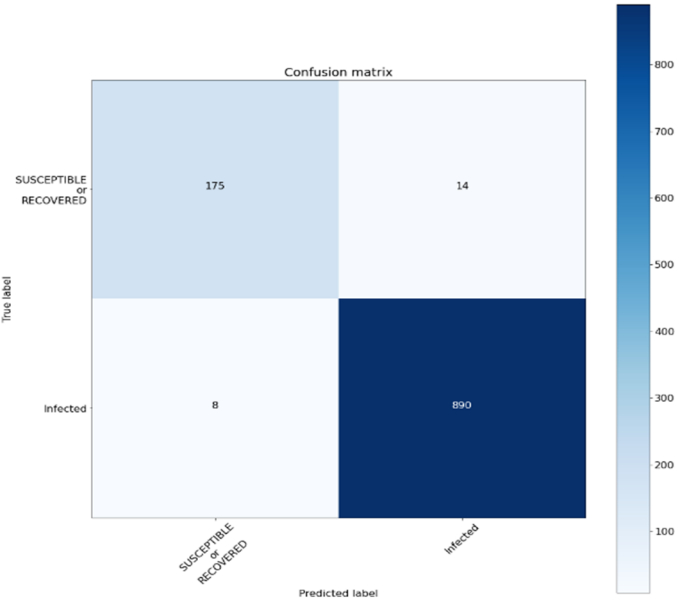


شکل ۹. نتایج مقادیر صحت برای عمق‌های مختلف الگوریتم درخت تصمیم

جدول ٦. مقادیر k و دقت، و تعداد منفی صحیح، منفی کاذب، مثبت کاذب، مثبت صحیح

مثبت صحیح	مثبت کاذب	منفی کاذب	منفی صحیح	دقت	مقادیر k
۸۸۱	۵	۱۷	۱۸۴	۹۷۹۷۶/۰	۱
۸۹۰	۱۴	۸	۱۷۵	۹۷۹۷۶/۰	۲
۸۸۸	۸	۱۰	۱۸۱	۹۸۳۴۴/۰	۳
۸۸۸	۱۴	۱۰	۱۷۵	۹۷۷۹۲/۰	۴
۸۸۵	۶	۱۳	۱۸۳	۹۸۲۵۲/۰	۵
۸۸۵	۶	۱۳	۱۸۳	۹۸۲۵۲/۰	۶
۸۸۳	۶	۱۶	۱۸۳	۹۸۰۶۸/۰	۷
۸۸۳	۶	۱۵	۱۸۳	۹۸۰۶۸/۰	۸
۸۸۲	۶	۱۶	۱۸۳	۹۷۹۷۶/۰	۹
۸۸۲	۱۰	۱۶	۱۷۹	۹۷۶۰۸/۰	۱۰
۸۸۲	۱۰	۱۶	۱۷۹	۹۷۶۰۸/۰	۱۱
۸۸۲	۱۲	۱۶	۱۷۷	۹۷۴۲۴/۰	۱۲
۸۷۶	۱۲	۲۲	۱۷۷	۹۶۸۷۲/۰	۱۳
۸۷۸	۱۲	۲۰	۱۷۷	۹۷۰۵۶/۰	۱۴
۸۷۲	۱۲	۲۶	۱۷۷	۹۶۵۰۴/۰	۱۵
۸۷۴	۲۱	۲۴	۱۶۸	۹۵۸۶۱/۰	۱۶
۸۷۲	۲۱	۲۶	۱۶۸	۹۵۶۷۶/۰	۱۷
۸۷۵	۲۵	۲۳	۱۶۴	۹۵۵۸۴/۰	۱۸
۸۷۲	۲۵	۲۶	۱۶۴	۹۵۳۰۸/۰	۱۹
۸۷۴	۳۸	۲۴	۱۵۱	۹۴۲۹۶/۰	۲۰

مطابق جدول ۶، مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۴ همسایگی، دقت بالاتر از ۹۷ درصد را دارند.



شکل ۱۰. ماتریس ابهام برای k برابر ۲

بالاترین دقت در ۳ همسایگی است. اما با توجه به حساسیت بیماری کووید-۱۹ و اهمیت تشخیص صحیح موارد بیمار، دقتی مناسب‌تر است که کمترین موارد منفی کاذب را داشته باشد. با توجه به این نکته، k برابر ۲ که دارای کمترین مورد منفی کاذب (۸ مورد) است، به‌عنوان k نهایی انتخاب شد.

مطابق جدول ۵، در k برابر ۲، موارد منفی صحیح برابر ۱۷۵، مثبت صحیح ۸۹۰ و مثبت کاذب ۱۴ است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش k بالاتر از ۱۴، دقت کمتر می‌شود و موارد منفی کاذب و مثبت کاذب بالاتر می‌رود. مقادیر حساسیت و ویژگی نیز برای همین الگوریتم محاسبه شد که نتایج آن به‌شرح زیر است:

$$\text{حساسیت} = \frac{۸۹۰}{(۸۹۰ + ۸)} = ۰/۹۹۱$$

$$\text{ویژگی} = \frac{۱۷۵}{(۱۷۵ + ۱٤)} = ۰/۹۲۵$$

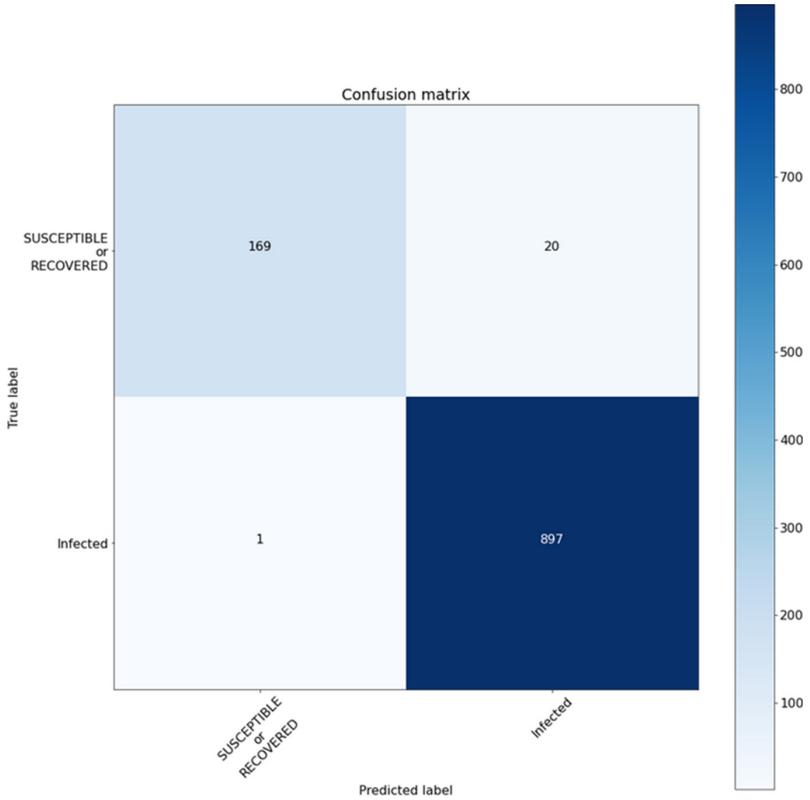
در ارزیابی الگوریتم درخت تصمیم برای به‌دست آوردن بهترین عمق جست‌وجو، مقادیر دقت با هم مقایسه شدند. بالاترین مقدار دقت برابر ۹۸ درصد به‌دست آمد. مطابق جدول ۷، و شکل ۹، برای مقایسه بهترین الگوریتم افزون بر بالاترین دقت، ماتریس ابهام رسم شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

جدول ۷. عمق جست‌وجو و نتایج دقت، تعداد منفی صحیح، منفی کاذب، مثبت کاذب، مثبت صحیح

مثبت صحیح	مثبت کاذب	منفی کاذب	منفی صحیح	دقت	عمق جست‌وجو
۸۶۸	۵۲	۳۰	۱۳۷	۰/۹۲۴	۴
۸۹۱	۳۱	۷	۱۵۸	۰/۹۶۵	۵
۸۸۰	۱۵	۱۸	۱۷۴	۰/۹۶۹	۶
۸۹۷	۲۰	۱	۱۶۹	۰/۹۸۰	۷
۸۸۲	۱۹	۶	۱۷۰	۰/۹۷۷	۸
۸۸۰	۷	۱۸	۱۸۲	۰/۹۷۷	۹
۸۸۷	۶	۱۱	۱۸۳	۰/۹۸۲	۱۰
۸۸۷	۶	۱۱	۱۸۳	۰/۹۸۴	۱۱
۸۸۷	۶	۱۱	۱۸۳	۰/۹۸۴	عمق بیشتر

مطابق جدول ۷، جست‌وجو در عمق از ۷ تا بیشترین عمق، دقت بالاتر از ۹۷ درصد را دارند. بالاترین دقت در عمق ۱۱ (و بیشترین عمق) است، اما با توجه به حساسیت بیماری کووید-۱۹ و اهمیت تشخیص صحیح موارد بیمار، دقتی مناسب‌تر است که کمترین موارد منفی کاذب را داشته باشد. با توجه به این نکته عمق جست‌وجوی ۷ که دارای کمترین مورد منفی کاذب (۱ مورد) است، به‌عنوان عمق پیشنهادی انتخاب شد.

با توجه به نتایج در عمق ۷، موارد منفی صحیح برابر ۱۶۹، مثبت صحیح ۸۹۷ و مثبت کاذب ۲۰ است. همچنین در جدول ۷، مشاهده می‌شود که با افزایش عمق جست‌وجو، بهبودی در نتایج منفی کاذب مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۱. ماتریس ابهام برای عمق جست‌وجوی برابر ۷

در مرحله قبل، عمق جست‌وجوی ۷، به‌عنوان الگوریتم نهایی انتخاب شد و مقادیر حساسیت و ویژگی نیز برای همین عمق محاسبه شد که نتایج آن به‌شرح زیر است:

$$\text{حساسیت} = \frac{۸۹۷}{(۸۹۷ + ۱)} = ۰/۹۹۸$$

$$\text{ویژگی} = \frac{۱۶۹}{(۱۶۹ + ۲۰)} = ۰/۸۹۴$$

۵. نتیجه‌گیری

چالش‌های بهداشتی بدون شک مهم‌ترین موانع توسعه پایدار جهانی است و با مشکلات اجتماعی و اقتصادی مختلف و ناکافی بودن منابع بزرگ می‌شود. دسترسی محدود به مراقبت‌های بهداشتی مانع عمده‌ای برای پایداری اجتماعی و اقتصادی در سراسر

جهان است (Madanian et al. 2020). بنابراین، برای کنترل این همه‌گیری در مناطق مختلف، مدیریت مناسب بیماران مشکوک به بیماری، شناسایی و جداسازی فوری منبع عفونت، قطع مسیر انتقال و جلوگیری از انتقال ویروس از بیماران بالقوه یا ناقلین بسیار مهم است (Hamzah et al. 2020).

اولویت‌بندی پروژه‌های تحقیقاتی نظام سلامت، یکی از مهم‌ترین موضوعات مهم هر کشور است، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه که منابع مالی برای طرح‌های پژوهشی محدود است و برای همه طرح‌ها منابع تخصیص داده‌شده وجود ندارد.

بررسی‌ها در ایران نشان می‌دهد که بیماری‌های عفونی و واگیر جزو مهم‌ترین چالش‌های کشور است. در همین راستا، بررسی که با هدف تعیین اولویت‌های تحقیقات سلامت انجام شده است، بیماری‌های عفونی و واگیر اولین اولویت نهادها و دانشگاه‌های ایران از میان ۹ اولویت اشاره‌شده در تحقیق بوده است (اولیا و همکاران ۱۳۹۰).

در ایران با توجه به جمعیت، بودجه کل بهداشت و درمان دولت بسیار پایین است (۲/۳ درصد از تولید ناخالص داخلی)، بنابراین، ایرانی‌ها بیش از ۴۲ درصد از هزینه‌های سلامتی خود را از پس‌انداز شخصی خود پرداخت می‌کنند. این آمار در مقایسه با سایر اقتصادهای نوظهور (۷/۷ درصد) پایین‌تر است (نعمت‌شاهی و همکاران ۱۳۹۹).

ایران از نظر نابرابری در دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی نیز با چالش‌های خاصی روبه‌روست. مطابق شاخص متوسط کشوری سال ۱۳۹۸، به ازای هر ۱۰۰۰ نفر در ایران، فقط ۱/۷۲ تخت و ۰/۱ پزشک عمومی در بیمارستان‌های دولتی و خصوصی وجود داشته است (گل‌پیرا و همکاران ۱۳۹۹).

این در حالی که است که بالاترین میزان سرانه تخت به ازای هر ۱۰۰۰ نفر، در سال ۲۰۲۰ برای کره جنوبی برابر ۱۲ و برای میانگین جهانی برابر ۳ تخت بوده است (Phua et al. 2020).

افزون بر این، کمبود پرسنل بهداشت و درمان نیز یکی از معضلات بزرگ همه‌گیری کووید-۱۹ در کشور است. میانگین تعداد پرستار در کشور، ۰/۹ نفر به ازای هر تخت بیمارستانی است (عبادی ۱۴۰۰).

بنابراین، استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت و کنترل بیماری‌های واگیردار به‌ویژه برای ایران، ضروری است. در پژوهش حاضر هدف، ردیابی بیماری کووید-۱۹ با استفاده از هوش مصنوعی است، به نحوی که این روش بتواند احتمال بیماری را بسیار

سریع‌تر از روش‌های سنتی محاسبه کرده و در نتیجه، بیمار در همان مراحل اولیه بیماری از افراد سالم جدا شود. برای این هدف نیاز به مجموعه داده با رکوردهای مناسب (بیش از ۲۰۰۰ رکورد) (روشن، یعقوبی و مؤمنی ۱۴۰۰) است، در حالی که داده‌های پژوهش حاضر ۵۴۳۵ رکورد هستند.

همچنین ویژگی‌های استفاده‌شده برای تشخیص و افتراق بیماری با نظر خبرگان تائید شد. پس از اجرای الگوریتم‌های یادگیری، برای ارزیابی از دو روش استفاده شد. در مرحله اول، دقت پیاده‌سازی الگوریتم‌ها روی دیتاست نشان می‌دهد که یادگیری به‌خوبی انجام شده است. این امر افزون بر وجود دیتاست مناسب و پاکسازی‌شده، نیازمند ویژگی‌های دقیق نیز است، زیرا حجم و تنوع داده‌های بهداشتی بسیار زیاد است و برای اجرای یک یادگیری صحیح، حتماً باید ویژگی‌ها بهینه شده باشند و در مرحله دوم ماتریس ابهام الگوریتم‌ها با هدف تعیین حساسیت و ویژگی محاسبه شد.

اگرچه مدل‌سازی همه‌گیرشناسیکی ابزاری قدرتمند برای اهداف بهداشتی است، چنین مدل‌هایی به‌طور عمده بر اساس ساده‌سازی سیستم‌های پیچیده هستند. در نتیجه، برخی از ویژگی‌های مهم را از دست می‌دهند (Ramos, Ivorra & López 2018).

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن همزمان عوامل متقابل شیوع بیماری و بیمار یا سالم‌بودن، دیدگاه متفاوتی نسبت به مدل‌های رایج انتشار بیماری ایجاد می‌شود که برایند آن نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های سلامت دارد. در پژوهش حاضر، افزون بر تلفیق متغیر سالم یا بیمار بودن، دو دسته متغیر مربوط به بیماری در مدل بررسی می‌شوند: یک دسته عوامل خطر، و دسته دیگر علائم بروز بیماری. افزون بر این، در دسته علائم، علائم سیستمی (مانند سردرد، تب یا دردهای عضلانی) و علائم موضعی (مانند گلودرد، عطسه، آبریزش بینی یا سرفه) بیماری به‌طور همزمان بررسی شده‌اند.

در مرحله بعد آنتروپی حاصل از بیشترین عمق و عمق بهینه (برابر ۷) جست‌وجوی الگوریتم درخت تصمیم برای هر ویژگی با نتایج خبرگان مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که از ۱۳ ویژگی که در نتایج «دلفی» با تأثیر خیلی زیاد مشخص شدند، ۱۲ ویژگی در الگوریتم درخت تصمیم نیز دارای اولویت هستند و در نتیجه، این ویژگی‌ها اطلاعات بیشتری برای یادگیری در اختیار الگوریتم قرار می‌دهند؛ به‌عبارتی، تأثیر این ویژگی‌ها در تشخیص بیماری بالاتر است.

دقت هر دو الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایگی و درخت تصمیم برابر ۹۸ درصد

به‌دست آمد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که این میزان بالاترین مقداری است که تاکنون در مقالات مشابه به‌دست آمده است (Yang, Zhang & Ma 2020; Alfred & Obit 2021).

یکی از دلایل یادگیری مطلوب در مدل ارائه‌شده، دیتاست مناسب است. دیتاستی که برای یادگیری استفاده شد، از نظر ابعاد و از نظر ویژگی بسیار مناسب بوده است. همچنین داده‌ها کیفیت مناسبی داشتند، زیرا بعد از مرحله پاکسازی، هیچ ردیفی از دیتاست حذف نشد.

مقایسه نتایج الگوریتم نشان می‌دهد که افزون بر دقت بالا، حساسیت و ویژگی به‌دست‌آمده برای هر دو الگوریتم بالاتر از روش‌های سنتی تشخیص بیماری‌های واگیردار است (کاشانی، اصلانی‌مهر و عابدی ایلخچی ۱۴۰۰). همچنین به‌دلیل نداشتن ویژگی‌های پیچیده غیرضروری که صرفاً زمان پیاده‌سازی مدل را افزایش می‌دهند، الگوریتم‌ها در چند دقیقه انجام شده و بنابراین، سرعت تشخیص بسیار بالاست. این نتایج نشان می‌دهد که ما می‌توانیم با توجه به میزان اطلاعات، دو هفته زودتر از زمان ردیابی و تشخیص روش‌های سنتی با دقت و ویژگی بالاتر از ۹۸ درصد کووید-۱۹ را پیش‌بینی کنیم. این ۶ تا ۹ برابر دقتی است که یک روش سنتی (بدون استفاده از فناوری اینترنت اشیا و هوش مصنوعی) می‌تواند به‌دست آورد (Bagal et al. 2020; Dadgari et al. 2021).

نتایج ارزیابی دو مدل نشان داد که هر دو الگوریتم انتخاب‌شده از حساسیت مناسبی برخوردار هستند. حساسیت بالاتر (۹۹ درصد) که برای تشخیص بیماری کووید-۱۹ اهمیت بالایی دارد و نشان‌دهنده موارد منفی کاذب در نتایج آزمون است، در عمق ۷ الگوریتم درخت تصمیم به‌دست آمد. بنابراین، از این دیدگاه می‌توان گفت، الگوریتم درخت تصمیم با توجه به نتایج ما برای رسیدن به هدف مناسب‌تر است.

داده‌های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توانند بسیار سریع‌تر از تشخیص‌های سنتی بیمار کووید-۱۹ را تشخیص دهد. با استفاده از فناوری ارائه‌شده در پژوهش حاضر، متخصصان و پزشکان می‌توانند از طریق داده‌های اینترنت اشیا علائم را شناسایی کنند و بیماری را بدون محدودیت زمان و مکان، به‌راحتی و به‌سرعت تشخیص دهند. در نتیجه، این سرعت و دقت، احتمال عفونت در جمعیت را کاهش می‌دهد و مراقبت‌های بهداشتی بعدی را تسهیل می‌کند.

همچنین الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به‌عنوان یک ابزار غربالگری اولیه برای موارد مشکوک به بیماری (به‌عنوان مثال، سابقه یا قرارگرفتن در معرض موارد تأییدشده) مورد استفاده قرار گیرند تا بیماران در معرض خطر بیشتری بتوانند آزمایش‌های

تأییدی انجام دهند یا جدا شوند. الگوریتم و ویژگی‌هایی که در این مقاله پوشش داده شده، می‌توانند به‌عنوان یک مدل مرجع برای ردیابی کووید-۱۹ در مراحل اولیه استفاده شود و ازدحام فیزیکی بیماران را در محل بیمارستان و تأثیر همه‌گیری را کاهش دهد. همه این موارد می‌توانند ما را برای بهبود روش‌های تشخیص در همه‌گیری‌ها و کاهش بار اقتصادی و بهداشتی بیماری‌های واگیر امیدوار کند.

به‌طور قطع، هر پژوهشی همواره نیازمند بهبود است و جنبه‌های مختلفی در هر تحقیق وجود دارند که به‌دلایل مختلف درنظر گرفته نمی‌شوند. حین انجام پژوهش حاضر و حتی بعد از آن، جنبه‌های متعددی کشف شد که می‌توانند به‌عنوان موضوع پژوهش برای توسعه روش‌ها در زمینه پیشگیری از بیماری‌های واگیر با استفاده از فناوری اطلاعات قرار بگیرند. در پژوهش حاضر، بعضی شکاف‌های آشکار شناسایی و رفع شد، اما همچنان معتقدیم که فرصت زیادی برای مشارکت در تحقیقات مرتبط وجود دارد. به برخی از این پیشنهادها و فرصت‌ها در ادامه اشاره شده است:

با توجه به اینکه یکی از اهداف کاربردی پژوهش، زمینه‌سازی برای طراحی اپلیکیشن پیشگیری از کووید-۱۹ است، پیشنهاد می‌شود وزارت بهداشت و دیگر شرکت‌های فناورانه سلامت، با مبنا قراردادن این مدل و در نظر گرفتن دغدغه‌های اخلاقی کاربران، نرم‌افزار امن و بومی طراحی نماید تا گام بزرگی در حوزه سلامت کاربران ایرانی باشد. همچنین نرم‌افزارهای «ریسک من» و AC19 (سامانه ایرانی مقابله با کرونا) نیز می‌توانند از نتایج این تحقیق بهره‌مند شوند و فاکتورهای خود را برای مقابله با بیماری کووید-۱۹ افزایش دهند.

همان‌طور که اشاره شد، دیتاست مورد استفاده در پژوهش حاضر، مربوط به کشور ایران نیست. با توجه به اینکه ممکن است داده‌های کشورهای مختلف متفاوت باشد و همچنین مقاومت و واکنش جوامع مختلف نسبت به ویروس متفاوت است، پیشنهاد می‌شود، تحقیق مشابهی بر روی داده‌های ایران انجام شود.

با توجه به اینکه در آغاز شیوع بیماری، واکسن کووید-۱۹ وجود نداشت و حتی یک سال پس از شیوع جهانی نیز هنوز در دسترس همگان قرار نگرفته بود، در پژوهش حاضر تأثیر واکسیناسیون بررسی نشد. اینکه واکسن به چه میزان می‌تواند در پیشگیری نقش داشته باشد و چه مدت زمانی بعد از تزریق واکسن، افراد به چرخه مستعد بودن برمی‌گردند، موضوعی است که می‌تواند با نگاه فناوری اطلاعات و به‌ویژه اینترنت اشیا و هوش مصنوعی مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

اسدآبادی، روح‌اله، شهرام توفیقی، حبیب‌الله قائدامینی، فاطمه عزیزیان، احمد عامریون، و محمد شکری. ۱۳۹۱. بررسی پراکندگی برخی بیماری‌های واگیردار بر اساس سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان چهارمحال و بختیاری. *مجله طب نظامی* ۱ (۲): ۱۱۳-۱۲۳.

اولیاء، پرویز، فرح‌السادات بحرینی، منیر افتخاری، مصطفی قانع، و آمنه فروزان. ۱۳۹۰. تعیین اولویت‌های تحقیقاتی سلامت در ایران. *مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی* ۹ (۲): ۹-۲۰.

بخشی، اشرف، معصومه اصلانی، و پریسا عابدی. ۱۴۰۰. مروری بر چالش‌های نمونه‌گیری و تشخیص آزمایشگاهی بیماری کووید-۱۹. *مطالعات علوم پزشکی* ۳۲ (۳): ۱۵۷-۱۷۸.

حسن‌نژاد دیوکلائی، سامره. ۱۳۹۶. بررسی سیستم‌های دینامیکی بعضی مدل‌های ریاضی در بیماری‌های واگیردار و تجزیه و تحلیل آن‌ها. *کنگره بین‌المللی بهبود مدیریت و نظام آموزشی ایران*. تهران. ۱-۲۷.

روشن، سید علیقلی، نورمحمد یعقوبی، و امیررضا مؤمنی. ۱۴۰۰. کاربست هوش مصنوعی در بخش دولتی. *فصلنامه علوم مدیریت ایران* ۱۶ (۱): ۱۱۷-۱۴۵.

رهنما، محمدرحیم، و مهدی بازرگان. ۱۳۹۹. مدل‌سازی الگوی پخش فضایی ویروس کووید-۱۹ در مناطق روستایی و شهری ایران. *اقتصاد فضا و توسعه روستایی* ۳۳ (۳): ۲۵-۴۸.

عبادی، عباس. ۱۴۰۰. *کمتر از یک پرستار به ازای هر تخت بیمارستانی*. تهران: خبرگزاری تسنیم.

عجمی، سیما، سعیده کتابی، سکینه سقائیان‌نژاد اصفهانی، و آسیه حیدری. ۱۳۹۰. الزامات و حوزه‌های مرتبط با ارزیابی آمادگی سازمان‌ها برای پیاده‌سازی پرونده الکترونیک سلامت. *مدیریت سلامت* ۱۴ (۴۶): ۷۱-۸۱.

کاشانی، اشرف، معصومه اصلانی‌مهر، و پریسا عابدی ایلخچی. ۱۴۰۰. مروری بر چالش‌های نمونه‌گیری و تشخیص آزمایشگاهی بیماری کووید-۱۹. *مجله مطالعات علوم پزشکی* ۲۳ (۳): ۱۵۶-۱۷۴.

کلاهدوز، مهسا، علیرضا طبیب‌زاده، مهسا طاهری‌زاده، آزاده لعلی، محمودرضا خوانساری، حسین اژدرکش، و محمدهادی کربلایی‌نیا. ۱۳۹۹. مروری بر کروناویروس ۱۹: کنترل و پیشگیری. *مجله علوم پزشکی رازی* ۲۷ (۵): ۹۸-۱۰۸.

گل‌پیرا، رضا، مرجان قطبی، فاطمه بهتاج، مهرنوش پروان، فریبا لطفی گلمیشه، و اکرم واحدی، اکرم. ۱۳۹۹. *شناسنامه شاخص‌های آمار و اطلاعات بیمارستانی*. تهران: معاونت درمان وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی.

نعمت‌شاهی، محبوبه، حسین ابراهیمی‌پور، زهرا کیوانلو، محمد خواجه دلویی، و عقیل کیخسروی. ۱۳۹۹. بررسی بودجه بخش بهداشت و درمان طی برنامه‌های اول تا پنجم توسعه اجتماعی اقتصادی کشور. *راهبردهای مدیریت در نظام سلامت*. ۵ (۲): ۸۵-۸۷.

References

Abbott P. A., & S. Barbosa. 2019. *Using Information Technology and Social Mobilization to Combat Disease*. Michigan: University of Michigan. 1-3.

Acarali, D., M. Rajarajan, N, Komninos, & B. Zarpelão. 2019. Modelling the Spread of Botnet Malware in IoT-Based Wireless Sensor Networks. *Security and Communication Networks* 3: 1-14.

Addante, F., F. Gaetani, L. Patrono, D. Sancarlo, I. Sergi, & G. Vergari. 2019. An Innovative AAL System Based on IoT Technologies for Patients with Sarcopenia. *Sensors* 19 (22): 1-18.

Adriana, Tomic I. T.-H. 2019. SIMON, an Automated Machine Learning System, Reveals Immune Signatures of Influenza Vaccine Responses. *Journal of Immunology* 203 (3): 1-202.

Agrebi S, Larbi A. 2020. Use of artificial intelligence in infectious diseases. Artificial Intelligence in Precision Health, Singapore, *Technopark* El Gazala, 415-532.

Alfred R., & J. H. Obit. 2021. The roles of machine learning methods in limiting the spread of deadly diseases: A systematic review. *Machineintelligencespace* 7 (6): 1-12.

Altintas, Z. 2018. *Biosensors and Nanotechnology: Applications in Health Care Diagnostics*. Berlin: John Wiley & Sons Inc. 150-230.

Astill, J., R. Dara, E. Fraser, & S. Shayan . 2018. Detecting and predicting emerging disease in poultry with the implementation of new technologies and big data. *Frontiers in Veterinary Science* 5 (12): 1-43.

Bagal, D. K., A. Rath, A. Barua, & D. Patnaik. 2020. Estimating the parameters of susceptible-infected-recovered model of COVID-19 cases in India during lockdown periods. *Chaos, Solitons and Fractals*. 140 (4): 1-13.

Bellini, E., F. Bagnoli, A. Ganin, & I. Linkov. 2019. Cyber Resilience in IoT network: Methodology and example of assessment through epidemic spreading approach. *IEEE World Congress on Services*. 72-78. Milan.

Bloom, D. E., & D. Cadarette. 2019. Infectious Disease Threats in the Twenty-First Century: Strengthening the Global Response. *Frontiers in Immunology* 10 (549): 1-12.

Chakraborty, C., A. Banerjee, L. Garg & C. Rodrigues. 2021. *Internet of Medical Things for Smart Healthcare.* Singapore: Springer. 241-263.

Chamola, V., V. Hassija, V. Gupta, & A. Guizani. 2020. A Comprehensive Review of the COVID-19 Pandemic and the Role of IoT, COVID-19 Pandemic and the Role of IoT. *Managing its Impact. IEEE Access*. 1-35.

Cheng, M. P., J. Papenburg, M. Desjardins, S. Kanjilal, C. Quach, M. Libman, & C. Yansouni. 2020. Diagnostic Testing for Severe Acute Respiratory Syndrome-Related Coronavirus 2: A Narrative Review. *Ann Intern Med*. 172 (11): 724-734.

Christaki, E. 2015. New technologies in predicting, preventing and controlling emerging infectious diseases. *Virulence* 6 (6): 558-565.

Cyient, I. 2021. *The Medical Internet of Things (MIoT)*. London: Cyient, Inc.

Dadgari, A., S. Mirrezaei, S. Talebi, Y. Gheshlaghi & M. Rohani-Rasaf. 2021. Investigating Some Risk Factors Related to the COVID-19 Pandemic in the Middle-aged and Elderly. *Iranian Journal of Ageing*. 16 (1): 102-112.

Daszak, P., Olival K., Li H. 2020. A strategy to prevent future epidemics similar to the 2019-nCoV outbreak. *Biosafety and Health* 2 (1): 6-8.

Diao, B., K. Wen, J. Chen, Y. Liu, Z. Yuan, C. Han, … & Y. Wu. 2021. Diagnosis of Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection by Detection of Nucleocapsid Protein. *medRxiv* 13 (1349): 1-13.

Duangchaemkarn, K., V. Chaovatut, P. Wiwatanadate, & E. Boonchieng. 2017. Symptom-based data preprocessing for the detection of disease outbreak. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference* 2614-2617. Jeju, Korea.

Durán-Vega, L. A., Pedro C. Santana-Mancilla, Raymundo Buenrostro-Mariscal, J. Contreras-Castillo, L. Anido-Rifón, M. García-Ruiz, & F. Estrada-González. 2019. An IoT System for Remote Health Monitoring in Elderly Adults through a Wearable Device and Elderly Adults through a Wearable Device and *Geriatrics* 4 (2): 1-27.

Edwards, P. 2017. Epidemics: past, present and future –what are the risks*? ReCent medical news*?: 1-4.

Fangge, Li, P. L. 2011. Arma model for predicting the number of new outbreaks of newcastle disease during the month. *IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*. 660-663. Shanghai.

Farrahi, K., R. Emonet, & M. Cebrian. 2015. Predicting a Community's Flu Dynamics with Mobile Phone Data. *HAL*. 9 (5): 1-9.

Halamka, J. A. 2006. The security implications of VeriChip cloning. *J Am Med Inform Assoc* 13 (6): 601-607.

Hamad, A. A. 2018. *Modelling epidemic spreading phenomena processes on networks.* Netherlands: Delft University of Technology. 1-20.

Hamzah, F., C. H. Lau, H. Nazri, D. Vincent, G. Lee, C. L. Tan, & N. E. Salunga. 2020. CoronaTracker: World-wide COVID-19 Outbreak Data Analysis and Prediction. *Bull World Health Organ* 55 (3): 1-32.

Husin, N. M. 2012. A hybrid model using genetic algorithm and neural network for predicting Dengue outbreak. *Conference on Data Mining and Optimization*. 27-23. Langkawi.

Kacprzyk, J. 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Singapore: Springer Nature Singapore. 11-45.

Lee, E., C. Choi, M. Lee, K. Oh, & P. Kim. 2016. An approach for predicting disease outbreaks using fuzzy inference among physiological variable. *10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing.* 1-4. Fukuoka.

Li, Q. 2018. Spatiotemporal responses of Dengue fever transmission to the road network in an urban area. *Acta Trop* 183 (1): 8-13.

Luz, C. M., J. Vollmer, M. W. Decruyenaere, C. Nijsten, C. Glasner & B. Sinha. 2020. Machine learning in infection management using routine electronic health records: tools, techniques, and reporting of future technologies. *Clinical Microbiology and Infection* 26 (10): 1291-1310.

McDonald, J. H. 2015. *Biological Statistics. Maryland* Baltimore, Maryland: Sparky house publishing. 54-103.

Phua, J., M. Farug, A. Kulkarni & I. Redjeki. 2020. Critical Care Bed Capacity in Asian Countries and Regions. *Critical Care Medicine* 48 (5): 1-10.

Rahman, M. S., N. Peeri, N. Shrestha, R. Zaki, U. Haque, & S. Hafizah. 2020. Defending against the Novel Coronavirus (COVID-19) outbreak: How can the Internet of Things (IoT) help to save the world? *Health Policy and Technology* 9 (2): 136-138.

Ramos, Á. M., B. Ivorra, & B. M. López. 2018. *Mathematical models for introduction, spread and early detection on infectious diseases in veterinary epidemiology*. Madrid: universidad complutense de madrid. 120-152.

Roth, J. A., & B. M. 2018. Introduction to machine learning in digital healthcare epidemiology. *Infect Control Hosp Epidemiol* 39 (12): 1557-1562.

Singh, R. P., M. Javaid, A. Haleem, & R. Suman. 2020. Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. Diabetes & Metabolic Syndrome: *Clinical Research & Reviews* 14 (2): 521-524.

Song, Y., J. Jiang, X. Wang, D. Yang, & C. Bai. 2020. Prospect and application of Internet of Things technology for prevention of SARIs. *Clinical eHealth* 3 (1): 1-4.

Stehman, S. 1997. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 62 (1): 77-89.

Ting, D. S. , l. Carin, v. Dzau, & T. Wong. 2020. Digital technology and COVID-19. *Nature Medicine*. 26 (2): 459-461.

Tuyishimire, E, & B. Bagula. 2020. Modelling and analysis of interference diffusion in the internet of things: an epidemic model. 2020 Conference on Information. *Communications Technology and Society (ICTAS)*?: 1-6.

Venkatramanan, S., A. Sadilek, A. Fadikar, C. Barrett, M. Biggerstaff, J. Chen, … M. Marathe. 2021. Forecasting influenza activity using machine-learned mobility map. NATURE COMMUNICATIONS?: 1-12.

Verelst, F., L. Willem, & P. Beutels. 2016. Behavioural change models for infectious disease transmission: a systematic review. The Royal Society?: 1-20.

Vijayakumar, V. 2019. Fog computing-based intelligent healthcare system for the detection and prevention of mosquito-borne diseases. *Comput.* Hum. *Behav*. 100 (3): 275-285.

WHO. 2018. *Managing epidemics: key facts about major deadly diseases*. Luxembourg: World Health Organization.

Wilson, K, & J. Brownstein. 2008. Early detection of disease outbreaks using the Internet. *National Library of Medicine* 180 (8): 829–831.

Yang, W., J. Zhang & R. Ma. 2020. The Prediction of Infectious Diseases: A Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (17): 1-19.

پیوست ۱

پرسشنامه در ۴ قسمت و با استفاده از ابزار «فرم‌نگار گوگل»[1] طراحی شد: بخش اول توضیحات کوتاه در مورد موضوع و هدف ارائه شد. بخش دوم شامل اطلاعات جمعیت‌شناختی صاحب‌نظران است. در بخش سوم شاخص‌ها ارائه شده که در این مرحله همه متغیرها که با مرور بیش از ۸۰ مقاله در حوزه بیماری کووید-۱۹ استخراج شده بود (رجوع شود به نمودار ۳-۳)، برای تعیین میزان اهمیت و ضرورت وجود در مدل با هدف تشخیص و پیشگیری در پرسشنامه قرار گرفت. تعیین میزان اهمیت متغیرها در قالب طیف لیکرت و شامل گزینه‌های ۱. «تأثیر خیلی کم»، ۲. «تأثیر کم»، ۳. «تأثیر متوسط»، ۴. «تأثیر زیاد» و ۵. «تأثیر بسیار زیاد» صورت گرفت.

در بخش چهارم پرسشنامه نیز یک سؤال به‌صورت باز ارائه شد تا اگر متغیر خاصی از ذهن ما دورمانده است، در مدل لحاظ شود و همچنین اگر خبرگان بخواهند سؤالی را حذف، اضافه یا ترکیب کنند، نظرشان را بیان کنند.

1. Google Forms

پرسشنامه

پاسخگوی گرامی؛

با سلام و احترام

پرسشنامه زیر به‌منظور انجام پژوهشی با عنوان «طراحی مدل جلوگیری از انتشار بیماری‌های واگیر بر پایه اینترنت اشیا» به راهنمایی آقایان دکتر رضارادفر و دکتر اشکان نصیری‌پور در دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهیه شده است. پاسخ شما صاحب‌نظر گرامی به این سؤالات ما را در تکمیل اطلاعات و تجزیه‌وتحلیل مربوطه یاری می‌کند و امید است این نتایج برای ارتقای سلامت جامعه و حل همه‌گیری بیماری کووید-۱۹ در کشور منجر شود. لازم به ذکر است که نام پاسخ‌دهنده و نظرات شخصی در پایان‌نامه ارائه نمی‌شود و امانت در همه مراحل تحقیق رعایت خواهد شد.

پیشاپیش از همکاری شما کمال تشکر را دارم.

اطلاعات جمعیت‌شناختی

مشخصات جمعیت‌شناختی

سن: ۲۰ تا ۳۰ سال ☐ ۳۱ تا ۴۰ سال ☐ ۴۱ تا ۵۰ سال ☐ بالاتر از ۵۰ سال ☐

سابقه کاری و پژوهشی حوزه بیماری‌های واگیر (به سال):

تحصیلات: کارشناسی ارشد ☐ دکتری عمومی ☐ دکتری تخصصی ☐

جدول سؤالات

شماره	سؤالات پژوهش	طیف اهمیت				
		خیلی‌کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	زیاد (٤)	خیلی زیاد (٥)
۱	به نظر شما شاخص شستن مکرر دست‌ها و بهداشت فردی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۲	به نظر شما شاخص استفاده از ماسک و پوشش دهان و بینی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۳	به نظر شما شاخص پاک‌سازی و ضدعفونی سطوح به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵

شماره	سؤالات پژوهش	طیف اهمیت				
		خیلی‌کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	زیاد (٤)	خیلی زیاد (٥)
۴	به نظر شما شاخص رژیم غذایی و سبک زندگی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۵	به نظر شما شاخص دیابت به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۶	به نظر شما شاخص فشارخون بالا به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۷	به نظر شما شاخص خستگی مزمن به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۸	به نظر شما شاخص بیماری معده و روده به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۹	به نظر شما شاخص ناراحتی قلبی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۰	به نظر شما شاخص سفر خارج از کشور به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۱	به نظر شما شاخص تماس با بیمار مبتلا به کووید-۱۹ به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۲	به نظر شما شاخص شرکت در همایش‌ها به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۳	به نظر شما شاخص حضور در مکان‌های عمومی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۴	به نظر شما شاخص داشتن خانواده شاغل در مکان‌های عمومی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۵	به نظر شما شاخص فاصله‌گذاری اجتماعی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۶	به نظر شما شاخص ضدعفونی کالاهای خریداری شده به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟	۱	۲	۳	۴	۵
۱۷	به نظر شما شاخص تب به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۱۸	به نظر شما شاخص سرفه به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۱۹	به نظر شما شاخص تنگی نفس به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					

شماره	سؤالات پژوهش	طیف اهمیت				
		خیلی‌کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	زیاد (٤)	خیلی زیاد (٥)
۲۰	به نظر شما شاخص سینه‌پهلو والتهاب ریه به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۱	به نظر شما شاخص اختلالات تنفسی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۲	به نظر شما شاخص آبریزش بینی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۳	به نظر شما شاخص لرز به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۴	به نظر شما شاخص درد عضلانی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۵	به نظر شما شاخص سرگیجه به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۶	به نظر شما شاخص سردرد به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۷	به نظر شما شاخص گلودرد به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۸	به نظر شما شاخص اسهال به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۲۹	به نظر شما شاخص کاهش یا ازدست‌دادن حس بویایی و چشایی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۳۰	به نظر شما شاخص خستگی به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					
۳۱	به نظر شما شاخص تولید خلط به چه میزان در تشخیص ابتلا بیماری کووید-۱۹ تأثیر دارد؟					

پاسخ‌دهنده گرامی در صورتی که از نظر شما شاخص‌های دیگری وجود دارند که در فرایند ارزیابی تأمین‌کنندگان تأثیر گذارند و در سؤالات پرسشنامه به آن‌ها اشاره نشده است، لطفاً در قسمت زیر نام ببرید.

پیوست ۲. جزئیات برگزاری نشست‌ها در روش دلفی

◆ **انتخاب خبرگان**

اعضای نشست دلفی برای این پژوهش به‌صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی و ترکیبی از نمونه‌گیری غیراحتمالی و ترکیبی از روش‌های هدفمند و زنجیره‌ای برگزیده شدند.

بر این اساس، ابتدا ۱۸ نفر از افرادی که پزشک یا متخصص بیماری‌های واگیر با حداقل ۵ سال سابقه کار بودند، شناسایی شدند. ۱۷ نفر از واجدین شرایط کاملاً داوطلبانه و با هدف ارتقای دانش اپیدمیولوژی و با کمک به سلامت جامعه مشارکت خود را اعلام کردند.

در مرحله بعد هدف و مراحل پژوهش و انتظارات ما از خبرگان توضیح داده شد و ایمیل حاوی مراحل پژوهش و فرم مشخصات و تأیید مشارکت آگاهانه برای اعضا ارسال شد. همچنین از هر یک از این افراد درخواست شد که افراد دیگری را معرفی کنند که بر اساس معیارهای یادشده برای مشارکت در این پژوهش مناسب باشند. از میان افراد معرفی‌شده، ۶ نفر دیگر واجد شرایط تشخیص داده شدند که همین فرایند برای آن‌ها نیز تکرار شد. از این میان، در مجموع ۲۳ نفر که دارای ویژگی‌های لازم بودند، تمایل و توافق خود را برای مشارکت در نشست دلفی اعلام کردند.

با همه اعضا مجدداً تماس گرفته شد و ضمن تشکر از مشارکت آن‌ها، موضوع و مراحل پژوهش و زمان لازم برای مشارکت در هر دور بیان شد.

ویژگی‌های اعضای گروه دلفی

نوع تخصص و سابقه کاری و پژوهشی مرتبط	تعداد افراد	سابقه (به سال)		
		بیشترین	کمترین	میانگین
دکتری تخصصی اپیدمیولوژی	۵	۲۰	۵	۷
کارشناس ارشد اپیدمیولوژی	۲	۱۲	۵	۵
پزشک عمومی	۹	۲۵	۶	۱۲
دکتری تخصصی ویروس‌شناسی	۴	۱۷	۵	۱۰
کارشناس ارشد ویروس‌شناسی	۱	۸	۸	۸
دکتری تخصصی میکروبیولوژی	۲	۱۰	۵	۷٫۵

◆ **توزیع و گردآوری پرسشنامه‌های هر دور نشست**

پس از تعیین اعضا، چهار دور نشست خبرگان برگزار شد و پرسشنامه‌های هر دور به‌صورت مجازی توزیع و گردآوری شدند. در هر مرحله لینک پرسشنامه آنلاین در اختیار اعضای گروه دلفی قرار گرفت و از ایشان خواسته شد تا در مورد میزان اهمیت هر شاخص و ارائه ایده‌های خود را درباره متغیر جدید با هدف ارائه یک مدل پیش‌بینی اظهار نظر نمایند.

جدول زیر تاریخ توزیع و گردآوری پرسشنامه‌های هر دور نشست خبرگان را به همراه تعداد آن‌ها نشان می‌دهد.

تاریخ توزیع و گردآوری پرسشنامه‌های هر دور نشست خبرگان

دور	ارسال پرسشنامه		دریافت پرسشنامه		میانگین تعداد پیگیری از هر عضو
	تاریخ توزیع	تعداد	آخرین تاریخ	درصد مشارکت خبرگان	
اول	۱۴۰۰/۰۲/ ۱۰	۲۳	۱۴۰۰/۰۲/۱۵	۱۰۰	۳
دوم	۱۴۰۰/۰۳/۱۰	۲۳	۱۴۰۰/۰۳/۱۴	۱۰۰	۴
سوم	۱۴۰۰/۰۴/۰۱	۲۳	۱۴۰۰/۰۴/۰۳	۹۰	۴
چهارم	۱۴۰۰/۰۴/۱۴	۲۳	۱۴۰۰/۰۴/۱۸	۹۵	۶

در دور اول نشست خبرگان، اعضای خبرگان ۲۵ عامل را از میان ۳۱ عامل موجود در پرسشنامه، دارای تأثیر زیاد و خیلی زیاد بر ابتلای افراد به بیماری تشخیص دادند و افزون بر این، یک عامل را برای تکمیل متغیرها مطرح کردند.

در دور دوم اعضای نشست ۲۰ عامل را از میان ۲۶ شاخصی که دور اول از طرف اعضا ارائه شده بودند، دارای تأثیر زیاد و خیلی زیاد تشخیص دادند.

با استفاده از نتایج دور اول و دوم، پرسشنامه اصلاح شد و مجدداً برای تعیین میزان اهمیت در اختیار اعضای گروه دلفی قرار گرفت.

◆ **دستیابی به اتفاق نظر و پایان دورهای نشست**

در دورهای سوم و چهارم، اعضا باید مجدداً نظر خود را درباره میزان تأثیر هر یک از عوامل و علائم اعلام کنند.

دور سوم نظر اعضا درباره عواملی که اهمیت آن‌ها در دورهای اول و دوم زیاد و

خیلی زیاد تشخیص داده شده بودند مجدداً دریافت شد و در نهایت، انجام روش دلفی پس از پایان دور چهارم و دستیابی به اتفاق نظر مطلوب پایان یافت.

در این پژوهش از ضریب هماهنگی کندال برای تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضای گروه دلفی استفاده شده است. همچنین تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای دلفی بر اساس مقدار ضریب هماهنگی کندال انجام شد. نتایج این بخش در فصل چهارم شرح داده خواهد شد.

سیده زهره حسینی

دانشنامه کارشناسی و کارشناسی ارشد را از دانشگاه آزاد در رشته زیست‌شناسی سلولی و مولکولی دریافت کرد و دانش‌آموخته دکتری تخصصی مدیریت فناوری اطلاعات دانشگاه علوم و تحقیقات است.

زمینه‌های پژوهشی ایشان، بیوتکنولوژی و بیوانفورماتیک، طراحی کیت‌های تشخیص سریع بیماری‌ها و مدیریت بیماری‌های همه‌گیر است. همچنین تاکنون ۲ کیت تشخیص سریع دارای شماره ثبت اختراع طراحی کرده است.

رضا رادفر

دانش‌آموخته دکتری تخصصی مدیریت صنعتی از دانشگاه علوم و تحقیقات است. ایشان در حال حاضر استاد تمام و مدیر گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات است.

زمینه‌های تحقیقاتی ایشان مدل‌سازی سیستمی، سیستم‌های پیچیده، علوم سیستم و داده و سیستم‌های نوآوری است. ایشان بیش از ۱۵۰ مقاله در نشریات داخلی و خارجی منتشر کرده است، همچنین در سال ۱۳۸۸ استاد نمونه دانشکده مدیریت واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی شد.

امیر اشکان نصیری‌پور

دانشنامه کارشناسی و کارشناسی ارشد را از دانشگاه علوم پزشکی ایران در رشته مدیریت خدمات بهداشتی و درمانی و دانشنامه دکتری تخصصی را در رشته مدیریت بهداشت و درمان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات دریافت کرد. ایشان در حال حاضر دانشیار دانشکده علوم و فناوری‌های پزشکی و عضو گروه مدیریت خدمات بهداشتی و درمانی دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات است. ایشان بیش از ۱۵۰ مقاله در نشریات معتبر داخلی و خارجی و همچنین ۳ عنوان کتاب به چاپ رسانده و به‌عنوان پژوهشگر برتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در سال ۱۳۸۷ انتخاب شده است.

علی رجب‌زاده قطری

دانشنامه کارشناسی را در رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه صنعت نفت و دانشنامه کارشناسی ارشد و دکترای خود را در رشته مدیریت بازرگانی-صنعتی و مدیریت تولید و عملیات از دانشگاه تربیت مدرس دریافت کرده است. ایشان بیش از ۱۵۰ مقاله در نشریات داخلی و خارجی و همچنین بیش از ۱۰ عنوان کتاب منتشر کرده است. ایشان در حال حاضر استاد تمام و مدیر گروه مدیریت صنعتی دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان شبیه‌سازی و هوش مصنوعی در کسب‌وکار می‌باشد.

پژوهش‌نامه

پردازش و مدیریت اطلاعات