

اعمال محدودیت‌های هوشمند در مواجهه با بیماری‌های همه‌گیر (مورد مطالعاتی: کووید-۱۹)

محمدرضا ملک^{۱*}، محمد خلیلی^۲، قباد مرادی^۳

^۱ استاد، آزمایشگاه پژوهشی اطلاعات مکانی فراگیر و همراه - گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، mrmalek@kntu.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد، آزمایشگاه پژوهشی اطلاعات مکانی فراگیر و همراه - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، m.khalili7474@gmail.com

^۳ استاد، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی - دانشکده پزشکی - دانشگاه علوم پزشکی کردستان، moradi_gh@muk.ac.ir

(دریافت: بهمن ۱۴۰۲، تصویب: تیر ۱۴۰۳)

چکیده

بشر همواره با تهدیدهایی در قالب همه‌گیری روبه‌رو بوده که جدیدترین آن، همه‌گیری ویروس کرونا می‌باشد یکی از روش‌های موثر در کنترل این بیماری اعمال قرنطینه و تعطیلی مشاغل می‌باشد. اعمال قرنطینه کلی، منجر به ضررهای اقتصادی و اجتماعی برای شهروندان می‌شود. به همین دلیل منطقی است که از قرنطینه‌های هوشمند و محلی به عنوان جایگزینی برای قرنطینه کلی استفاده شود. هدف تحقیق حاضر ارائه راه‌حلی برای این منظور بوده‌است. در این چارچوب، مدلی دومرحله‌ای برای اعمال هوشمند محدودیت‌ها طراحی شد. در مرحله اول از سیستم فازی عصبی تطبیقی برای پیش‌بینی بیماری و در مرحله دوم از سیستم خبره فازی برای اعمال تأثیر عوامل تأثیرگذار بر شیوع بیماری استفاده شد. در نهایت از نقشه آسیب‌پذیری ایجادشده برای اعمال محدودیت‌ها بهره گرفته شد. برای مرحله نخست، نتایج مقایسه خطای جذر میانگین مربع‌ها برای سه روش خوشه‌بندی نشان داد که خوشه‌بندی ترکیبی با مقدار ۰/۵۳۲۹۴ بهتر از دو روش خوشه‌بندی فازی و کاهشی عمل می‌کند. در مرحله دوم عوامل تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالمندان، جابجایی مکانی، فاصله از مکان‌های پر رفت‌وآمد، دسترسی به منابع پزشکی و موارد مبتلای به این بیماری استفاده و نقشه آسیب‌پذیری برای بازه زمانی مدنظر محاسبه و تولید شد. از این نقشه برای تصمیم‌گیری اعمال هوشمند محدودیت‌ها برای ارگان‌های تصمیم‌گیرنده استفاده‌شده و نقشه اعمال هوشمند محدودیت‌ها برای چهار ارگان آموزش و پرورش، شهرداری، سازمان بهداشت و استانداری تولید گردید. نتایج نشان می‌دهد علیرغم اعمال محدودیت‌های کامل برای همه مشاغل در تاریخ یاد شده ۱۳۹۹ در شهر قم، برخی مناطق وضعیت خطرناک کرونایی نداشته و نیاز به اعمال محدودیت‌ها در این مناطق نبوده‌است. در آموزش و پرورش نیازی به تعطیلی ۵۸٪ از مدارس استان در تاریخ مذکور نبوده، همچنین در شهرداری نیازی به تعطیلی ۴۰٪ پارک‌ها و بوستان‌ها نبوده و با رعایت پروتکل‌های بهداشتی می‌توانستند به فعالیت خود ادامه دهند.

واژگان کلیدی: کووید، همه‌گیری، محدودیت مشاغل، سیستم فازی عصبی تطبیقی، سیستم خبره فازی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

از دیدگاه پزشکی، همه‌گیری^۱ به وضعیتی گفته می‌شود که در آن بیماری به‌طور سریع در میان افراد یک منطقه شیوع پیدا می‌کند [۱]. سه عامل شخص بیمار، زمان و مکان در بررسی همه‌گیری مورد مطالعه قرار می‌گیرد [۱]. توجه به عامل مکان در همه‌گیری‌ها به عهده کارشناسان اطلاعات مکانی بوده، با ایجاد نقشه‌های آسیب‌پذیری بیماری و ارائه راهکارها سعی در کنترل شرایط و مهار شیوع بیماری دارند [۲ و ۳]. درواقع نقشه‌های آسیب‌پذیری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تصمیم‌گیری برای مدیریت همه‌گیری، ارتباط بین ریسک و پتانسیل خطر را برقرار کرده و امکان نمایش دیداری آن‌ها را فراهم می‌سازند [۴].

در مورد بیماری کووید، راهکارهای گوناگونی توسط کشورهای مختلف برای جلوگیری از گسترش آن بهره برده شده که می‌توان به اعمال محدودیت‌های رفت‌وآمد، تعطیلی مشاغل، مدارس و دانشگاه‌ها، لغو اجتماعات و استفاده از برنامه‌های ردیابی تماس در تلفن‌های همراه اشاره کرد [۵]. همان‌طور که اشاره شد، اعمال محدودیت‌های پیشگیرانه یکی از راهکارها برای کنترل شیوع این بیماری می‌باشد. ایران نیز جزو کشورهایی بود که راهکار اعمال محدودیت‌های مشاغل را برای مهار این بیماری در پیش گرفت. برای نمونه، در اعمال محدودیت‌های مشاغل، ستاد ملی مبارزه با کرونا با توجه به اولویت و ضرورت مشاغل، آن‌ها را در چهار گروه دسته بندی کرده و بر اساس آماره-هایی با اعلام یک رنگ، گروهی از مشاغل بطور موقت تعطیل می‌شدند.

اعمال محدودیت مشاغل در سطح شهر به‌طور یکنواخت و بدون توجه به وضعیت شیوع بیماری در مناطق مختلف و همین‌طور پیشگیرانه نبودن آن دارای نواقص و عوارض منفی نیز هست. این امر باعث بروز مشکلات در مدیریت و کنترل شهری شده و صدمات اقتصادی و اجتماعی زیادی به مشاغل مختلف وارد کرده‌است. بنابراین، اعمال هوشمند این محدودیت‌ها برای مشاغل کمک زیادی در حوزه مدیریت شهری و کاهش تبعات منفی آن خواهد کرد.

امروزه با پیشرفت سریع علم و فناوری، استفاده از هوش محاسباتی در مدل‌سازی‌ها و یافتن ارتباط بین پارامترها از

اهمیت بیشتری برخوردار شده‌است. در مطالعات مربوط به پیش‌بینی، انواع مختلف شبکه عصبی بسیار کاربرد هستند. منطق فازی نیز برای استفاده از متغیرهای زبانی در این مدل‌ها بسیار پر استفاده می‌باشد. سیستم‌های فازی-عصبی تطبیقی^۲ نمونه‌ای از این سیستم‌ها می‌باشند که در جهت مدل‌سازی مسئله از ترکیب روش‌های سیستم‌های فازی و شبکه عصبی استفاده می‌کند [۶]. همچنین منطق فازی در مسائلی که ابهامات دربارۀ رابطه بین پارامترهای تأثیرگذار و خسارات ناشی از آن وجود دارد، بسیار می‌تواند کاربردی عمل نماید [۴].

هدف این پژوهش، ارائه مدلی هوشمند بر پایه پیش‌بینی بیماری از روزهای قبل برای مدیریت اعمال محدودیت‌ها و تعطیلی مشاغل بویژه برای بیماری کووید-۱۹ در سطح یک شهر می‌باشد.

در ادامه فصل دوم اختصاص به پیشینه در سه بخش بررسی عوامل محیطی مؤثر بر شیوع کرونا، مدل‌سازی مکانی بیماری‌های مختلف و اعمال محدودیت‌ها دارد. در فصل سوم فشرده‌ای از مبانی نظری مورد نیاز بیان می‌شود. فصل چهارم مدل پیشنهاد شده ارائه و قسمت‌های مختلف آن تشریح می‌شود. در فصل پنجم، پیاده‌سازی در شهر قم و ارزیابی آن تشریح خواهد شد. فصل آخر نیز به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- پیشینه

۲-۱- عوامل محیطی مؤثر بر شیوع بیماری

جمع‌بندی عوامل مؤثر بر شیوع بیماری کووید در جدول ۱ آورده شده‌است. لازم به ذکر است برخی عوامل که با عناوین مختلف در مقالات اشاره شده، چون در اصل معادل یکدیگر بوده، در این جدول، با یکدیگر تلفیق شده‌اند. همچنین تمام عوامل که به عنوان فاصله از مراکز پررفت و آمد مانند فروشگاه‌ها، مراکز خرید، پارک‌ها و هتل‌ها معادل یکدیگر در نظر گرفته شده و در یک دسته آورده شده‌است.

۲-۲- اعمال محدودیت‌ها

خان و همکاران [۲۶] در مقابل قرنطینه کامل، قرنطینه مناطقی که خوشه‌های آلوده به بیماری داشته را پیشنهاد

داده‌اند. آن‌ها از دو مدل یادگیری عمیق؛ شبکه عصبی پیچشی^۱ CNN و حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت^۲ LSTM در مدل خود استفاده کردند و همچنین برای ارزیابی مدل خود، خطای جذر میانگین مربع‌ها مدل پیشنهادشده را با روش‌های دیگر مقایسه کردند.

جدول ۱: عوامل موثر در شیوع کرونا ذکر شده در منابع

منبع	عوامل
ملاو و همکاران [۷]	نابرابری اقتصادی، متوسط درآمد، مهاجران، کمبود منابع پزشکی
ژسینگ سیه و همکاران [۸]	کمبود منابع پزشکی، فاصله از منبع شیوع، تراکم و توزیع جمعیت، میزان رفت و آمد در منطقه، آب و
اندرسون و همکاران [۹]	کمبود منابع پزشکی، فاصله از منبع شیوع، میزان رفت و آمد در منطقه
هان و همکاران [۱۰]	تراکم و توزیع جمعیت، میزان رفت و آمد در منطقه
لاروز و همکاران [۱۱]	جابجایی مکانی
حمیدور و همکاران [۱۲]	متوسط درآمد، کمبود منابع پزشکی، فاصله از منبع شیوع، تراکم و توزیع جمعیت
کودرا و همکاران [۱۳]	تراکم و توزیع جمعیت، آب و هوا، تراکم جمعیت سالمندان
دلیک مانزاک و علی مانزاک [۱۴]	کمبود منابع پزشکی، تراکم و توزیع جمعیت
راشد و همکاران [۱۵]	تراکم و توزیع جمعیت
ژانگ و همکاران [۱۶]	کمبود منابع پزشکی، تراکم و توزیع جمعیت، میزان رفت و آمد در منطقه
کونگ و همکاران [۱۷]	نابرابری اقتصادی، تراکم و توزیع جمعیت، جمعیت سالمندان
فتح الهی و همکاران [۱۸]	متوسط درآمد، بیماری زمینه‌ای، وضعیت اشتغال
ملاو و همکاران [۱۹]	متوسط درآمد، آب و هوا، تراکم جمعیت سالمندان
نصیری و همکاران [۲۰]	تراکم و توزیع جمعیت، تراکم جمعیت سالمندان
کیانفر و مسگری [۲۱]	متوسط درآمد، تراکم جمعیت سالمندان
کاتوف و همکاران [۲۲]	تراکم جمعیت سالمندان، وضعیت اشتغال
ما و همکاران [۲۳]	میزان رفت و آمد در منطقه، جابجایی مکانی، تراکم جمعیت سالمندان
لک و همکاران [۲۴]	تراکم و توزیع جمعیت، میزان رفت و آمد در منطقه، پراکندگی مراکز محله
کاوو و همکاران [۳۰]	مهاجران، جابجایی مکانی، آب و هوا

محدودیت عمده مطالعه‌ی [۲۶] عدم توجه به پیش‌بینی بیماری می‌باشد و از داده‌های روز برای اعمال قرنطینه هوشمند برای آینده استفاده شده است. فانگ و همکاران [۲۷] طی بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های مبتلایان در چین و داده‌های جابجایی مردم و ارائه مدلی برای تخمین مبتلایان جدید دریافتند که طی قرنطینه ووهان؛ جمعیت واردشده به ووهان ۷۶درصد، جمعیت خارج‌شده از ووهان ۵۶ درصد و جابجایی درون ووهان ۵۴ درصد کاهش یافته‌است. نتایج مدل تخمین نشان می‌دهد قرنطینه ووهان به کاهش موارد مبتلا در ووهان و شهرهای مجاور آن کمک کرده‌است.

اودونهی و همکاران [۲۸] با توجه به بازگشایی کامل مشاغل پس از قرنطینه، شاخصی تحت عنوان شاخص تجاری که شامل دو معیار تعداد بازدید در واحد فوت مربع و میانگین زمان توقف داده‌های تلفن همراه را ارائه کردند. آن‌ها دریافتند الگوی ترافیکی که در طول قرنطینه ۳۰ درصد کاهش یافته بود، با بازگشایی مجدد افزایش یافته است. همچنین افزایش میانگین ریسک در این ایالت باعث افزایش شیوع کرونا در این ایالت می‌شود.

چوی و همکاران [۲۹] یک مدل شبیه‌سازی برای قرنطینه محلی و ردیابی تماس در کره جنوبی ارائه کردند. آن‌ها در این تحقیق از مدل SEIR^۳ با رویکرد شبکه‌ای استفاده کردند که در این شبکه افراد به صورت گره‌ها و تماس بین افراد به صورت پیوندها در نظر گرفته شده‌است. با بیمار شدن یک گره، پیوندها قطع می‌شود و با درمان وی، پیوندها مجدد برقرار می‌شود.

لادها [۳۰] در هند بخاطر هزینه‌های فراوان اعمال قرنطینه به بررسی و یافتن سطح بهینه قرنطینه پرداخته‌است. در تحقیق او نشان داده شده که قرنطینه سخت‌گیرانه ملی، ضررهای جبران‌ناپذیری بر اقتصاد وارد خواهد کرد و در مقابل قرنطینه ساده‌گیرانه باعث گسترش شیوع کرونا خواهد شد. براین اساس، دو سناریو قرنطینه متناوب که با کاهش و افزایش قرنطینه، به هر دو هدف پیشگیری و کاهش ضرر اقتصادی کمک کند و همچنین اعمال محدودیت‌ها بصورت محلی را پیشنهاد می‌کند.

فونتانولا و همکاران [۳۱] درمقاله خود به بررسی تأثیر تعطیلی و قرنطینه برای چهار دوره زمانی در مادرید اسپانیا

^۱ Convolutional Neural Network

^۲ Long short-term memory

^۳ Susceptible. Exposed, Infectious and Recovered

پردازنده و وضعیت مناطق تحت قرنطینه را با مناطق بدون آن مقایسه کرده‌اند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که قرنطینه به هموارسازی منحنی شیوع نسبت به مناطق آزاد کمک کرده و با کاهش ۵۰ درصدی موارد مورد آزمایش همراه بوده‌است. در این تحقیق تنها از عامل بیماران مبتلا به کرونا در مکان‌های مختلف استفاده شده و سایر عوامل عوامل موثر در شیوع بیماری را نادیده گرفته است.

لی و همکاران [۳۲] به دلیل هزینه‌های کمتر قرنطینه محلی نسبت به قرنطینه کلی، با استفاده از یک رویکرد کنترل مصنوعی تقویت‌شده در شیلی به بررسی تأثیر قرنطینه محلی در حالت‌های مختلف پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تأثیر قرنطینه محلی در طول زمان تعدیل می‌شود. همچنین با توجه به وابستگی اقتصادی و اجتماعی برخی از مناطق تحت قرنطینه در مجاورت با مناطقی غیرقرنطینه، باعث کاهش اثرگذاری قرنطینه محلی می‌شوند.

با بررسی مقالات در موضوع اعمال هوشمند محدودیت‌ها در می‌یابیم که کمتر مطالعاتی برای اعمال هوشمند محدودیت‌ها در مقیاس کوچک‌تر از شهر صورت گرفته‌است. همچنین در مقالات غالباً از روش‌های شبیه‌سازی استفاده شده و پیاده‌سازی مکانی کمتر موردتوجه قرار گرفته‌است. غالب مقالات فقط از داده‌های بیماری کرونا برای پیش‌بینی آینده و اعمال هوشمند محدودیت‌ها استفاده کرده و توجهی به سایر کارگزاران مؤثر بر شیوع بیماری در اعمال این محدودیت‌ها نکرده‌اند.

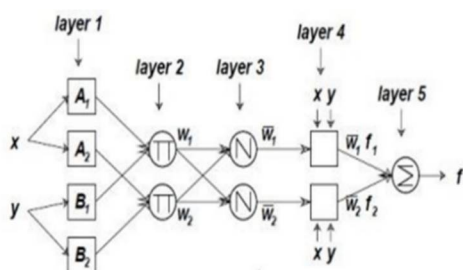
۳- مبانی نظری

سیستم‌های فازی مزایای زیادی از جمله توانایی مدل‌سازی عدم قطعیت، استفاده از متغیرهای زبانی و نزدیکی به روال فکری بشر را دارا می‌باشند در کنار آن، معایبی همچون عدم توانایی در یادگیری و آموزش و وابستگی به دانش افراد خبره سازنده آن سیستم را نیز دارند. برای کاستن این مشکلات یکی از روش‌های تجربه شده استفاده از یادگیری توسط شبکه عصبی است. با ترکیب سیستم‌های فازی و شبکه عصبی، از مزایای موجود در هر روش برای کاستن معایب روش دیگر می‌توان سود جست.

در یکی از انواع ترکیب که به سیستم نرو-فازی موسوم بوده، ساختار اصلی یک سیستم فازی حفظ شده ولی با

استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی، سیستم فازی تنظیم شده و آموزش داده می‌شود. سیستم ANFIS یکی از مشهورترین سیستم‌های نرو-فازی است.

ANFIS از سیستم فازی سوگنو درجه اول استفاده کرده و در عمل یک شبکه عصبی پیش‌خور می‌باشد. مطابق شکل ۳ این سیستم از پنج لایه فازی‌ساز، قواعد، نرمال‌ساز، غیرنرمال‌ساز و لایه مجموع تشکیل شده است (شکل ۱).



شکل ۱- ساختار ANFIS [۳۳]

در فازی‌ساز متغیرهای ورودی، درجه عضویت می‌یابند. هر تابع عضویت به‌عنوان یک گره تطبیقی تعریف می‌شود، بدین معنی که عوامل تعدیل‌کننده برای آن تعریف شده است.

در لایه قواعد، گره‌ها ثابت بوده و هر گره نمایانگر یک قانون می‌باشد. بر مبنای محاسبات فازی، برای تلفیق توابع عضویت از هنج-T مانند عملگر کمینه و یا ضرب استفاده می‌شود.

گره‌های لایه نرمال‌ساز مشابه لایه قبل، گره‌های ثابت بوده و با نماد N نمایش داده شده‌اند. وظیفه این لایه محاسبه وزن نسبی یا نرمال‌سازی وزن قواعد می‌باشد. این عمل با تقسیم وزن هر قاعده در مجموعه وزن کل قواعد انجام می‌پذیرد.

در لایه غیرنرمال‌ساز با اعمال وزن محاسبه‌شده لایه قبل بر متغیرهای ورودی، پارامتر نتیجه محاسبه می‌شود. گره‌ها در این لایه گره تطبیقی می‌باشند.

$$\overline{w_i} f_i = \overline{w_i} (p_i x + q_i y + r_i) \quad (1)$$

در معادلات فوق x و y مقادیر ورودی، $\overline{w_i}$ وزن نرمال شده برای قانون i ام، p_i ، q_i و r_i مقادیر ثابت معادلات می‌باشند.

در لایه آخر، یک گره ثابت حضور داشته که با نماد Σ نمایش داده شده و وظیفه آن محاسبه مقدار نهایی از روی مقادیر نتیجه محاسبه شده در لایه قبل می باشد.

۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی خود شامل چهار مرحله اصلی است. مرحله اول پس از جمع آوری داده ها، آماده سازی و پیش پردازش آن ها است. البته فرض کرده ایم که خطای عمدی و نظامدار در آن ها نیست. اگر این فرض را نپذیریم، باید یک مرحله برای پاک سازی ایرنگی ها و کشف اشتباهات را هم به آن بیافزاییم.

مرحله دوم اجرای سیستم فازی عصبی تطبیقی ANFIS می باشد. از این سیستم برای پیش بینی موارد ابتلا به بیماری کووید از روی موارد ابتلا قبلی استفاده شده است. همچنین از سیستم فازی عصبی تطبیقی برای تعیین و برازش مدل مناسب مبتنی بر داده های ورودی استفاده شده و با توجه به فازی بودن آن علاوه بر بهره بری از متغیرهای زبانی، نیاز به داده زیاد برای آموزش شبکه عصبی را می کاهد. بنابراین این شبکه از داده های محدود قبلی استفاده کرده و داده های آینده را پیش بینی می کند.

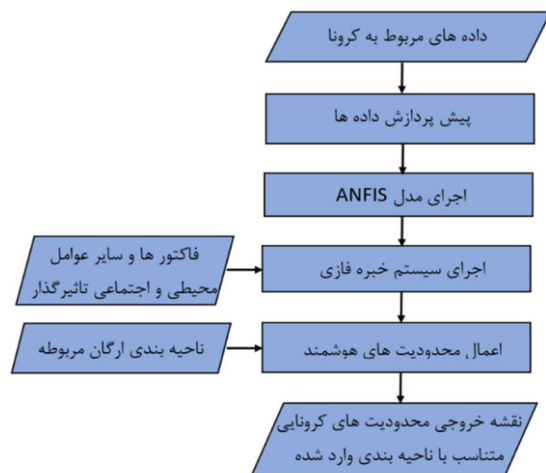
چون این بیماری وابسته به عوامل محیطی و اجتماعی بوده، بنابراین در مرحله سوم از سیستم خبره برای ترکیب موارد ابتلا به این بیماری با سایر عواملی مؤثر برای تهیه نقشه آسیب پذیری استفاده می شود.

در مرحله آخر از خروجی مرحله قبل یعنی نقشه آسیب پذیری شیوع بیماری کرونا استفاده شده و محدودیت های هوشمند مشاغل با توجه به نیاز ارگان های متولی اعمال می شود. این محدودیت ها وابسته به بخش بندی و ناحیه بندی ارگان مربوطه اعمال خواهد شد و مشاغل مرتبط با هر ارگانی متناسب با شرایط شیوع بیماری دچار اعمال محدودیت ها در نواحی مختلف آن سازمان خواهند شد. در شکل ۲ روند کلی بخش های اصلی این و نحوه اعمال محدودیت دیده می شود.

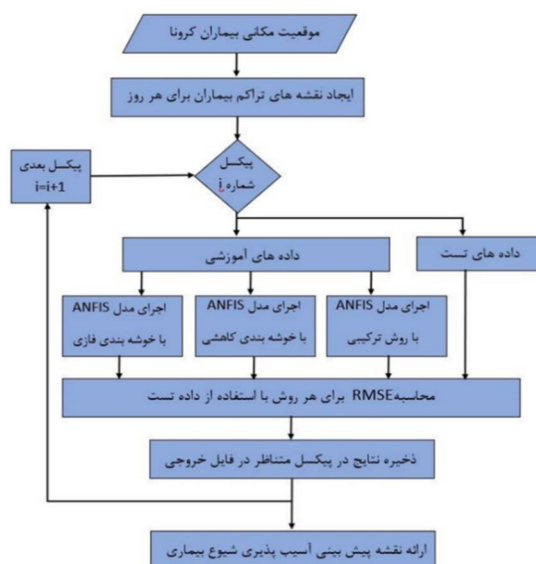
۴-۱- سیستم عصبی فازی تطبیقی پیشنهادی

مدل طراحی شده به صورت پیکسل به پیکسل اجرا شده و در هر مرحله ارزش پیکسل های متناظر در روزهای

مختلف را در نظر می گیرد. مراحل سیستم فازی عصبی تطبیقی پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است



شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی



شکل ۳: کلیات روش فازی عصبی تطبیقی پیشنهادی

پس از ورود داده های روزهای مختلف، نقشه تراکم بیماران برای هر روز ایجاد می شود. هر پیکسل در نقشه بیانگر تراکم مبتلایان در روز مشخصی می باشد. بر مبنای آن نقشه ها، پیکسل های متناظر در روزهای مختلف تعیین می شود. مدل ANFIS روی هر پیکسل اجرا شده و از داده های ده روز استفاده می کند تا پیش بینی میزان مبتلایان برای روز شانزدهم را انجام دهد. البته مقادیر یاد شده را می توان تابع تجربه و نوع بیماری تغییر داد. روش خوشه بندی کاهشی برای خوشه بندی مدل ANFIS به لحاظ تئوری مشابه خوشه بندی فازی می باشد.

از لحاظ اجرایی دو تفاوت عمده میان این دو روش وجود دارد. نخست آنکه مراکز خوشه‌ها در روش خوشه‌بندی کاهشی از اعضای داده ورودی می‌باشد و دوم اینکه تعیین تعداد خوشه‌ها دیگر توسط کاربر نبوده و کاربر فقط حداکثر شعاع خوشه را تعیین کرده و خوشه‌بندی بر اساس تراکم داده‌ها انجام می‌گیرد.

روند کار در این روش بدین‌صورت است که ابتدا داده‌ای که بیشترین پتانسیل داده‌ای را داشته باشد به عنوان اولین مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود. سپس تصحیح فاصله از مرکز خوشه قبلی اعمال‌شده و مراکز خوشه بعدی را به ترتیب بیشترین پتانسیل به عنوان مرکز خوشه جدید در نظر می‌گیرد. این عمل تا هنگامی که تمامی داده‌ها در شعاع موردنظر از مراکز خوشه قرار گیرند، ادامه پیدا می‌کند.

اگر توزیع داده‌ها متراکم باشد، آنگاه در روش خوشه‌بندی فازی، خوشه‌ها بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و خوشه‌بندی به‌درستی صورت نمی‌پذیرد. این درحالی است که خوشه‌بندی کاهشی با توجه به شعاع همسایگی تعریف شده می‌تواند گزینه مناسبی باشد. حال اگر توزیع داده‌ها پراکنده باشد، با توجه به شعاع خوشه‌بندی کاهشی، تعداد خوشه‌های زیادی تشکیل شده و در نتیجه امکان حل ANFIS وجود نخواهد داشت. درحالی که خوشه‌بندی فازی می‌تواند آن را در k -خوشه مشخص خوشه‌بندی کند. بنابراین روش ترکیبی خوشه‌بندی که حاصل ترکیب دو روش خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی می‌باشد را پیشنهاد می‌کنیم.

با توجه به تفاوت‌های ذکرشده برای دو روش خوشه‌بندی، روش خوشه‌بندی ترکیبی به‌گونه‌ای معرفی می‌شود که دارای مزایای هر دو روش بوده و ضعف هر روش با استفاده از روش دیگر پوشانده شود. در این روش هر دو کارگزار بیشترین تعداد خوشه که همان مقدار k بوده و بیشترین شعاع هر خوشه توسط کاربر تعیین می‌شوند. ابتدا خوشه‌بندی به روش کاهشی انجام می‌شود. اگر وضعیت توزیع داده‌ها به‌گونه‌ای باشد که تعداد خوشه ایجادشده با شعاع تعیین‌شده برای هر خوشه از مقدار k کمتر باشد همان تعداد خوشه در نظر گرفته می‌شود. اما اگر تعداد خوشه‌ها از مقدار k بیشتر باشد، داده‌ها را به روش فازی با k دسته خوشه‌بندی کرده و از آن استفاده خواهد شد.

۴-۲- سیستم خبره فازی

با توجه به پژوهش‌های ذکر شده در فصل دوم راجع به عوامل مؤثر بر شیوع بیماری، هفت عامل تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالمندان، جابجایی مکانی، مهاجران غیر ایرانی، مکان‌های پررفت‌وآمد، دسترسی به منابع پزشکی و تراکم بیماران مبتلا در این فعالیت برگزیده شد. تغییر عوامل، حذف و یا اضافه کردن عامل‌های دیگر براحتی قابل انجام است.

تراکم جمعیت به‌عنوان اولین عاملی است که تأثیر آن به‌وضوح در بیشتر مقالات مشهود است و هر جا تراکم جمعیت بیشتر باشد شیوع بیماری نیز در آن منطقه بیشتر خواهد بود. عامل دوم پیری جمعیت و یا تراکم جمعیت سالمندان می‌باشد. با توجه به ضعف سیستم دفاعی بدن این قشر از جامعه، به‌مراتب دچار آسیب‌پذیری بیشتری خواهد بود لذا در مناطقی که جمعیت مسن بیشتری در آنجا ساکن می‌باشد، آسیب‌پذیری نیز بیشتر خواهد بود. نقش عامل سوم یعنی جابجایی مکانی افراد در انتقال ویروس بسیار روشن است. بر اساس مطالب فصل دوم، عده‌ای یکی از عامل‌های مؤثر در شیوع کرونا را مرتبط با محل زندگی مهاجران در محدوده مطالعاتی خود عنوان کرده‌اند [۶۰]. لذا ما نیز در این پژوهش مهاجران غیرایرانی را به عنوان یک عامل مؤثر در مدل‌سازی خود در نظر می‌گیریم.

عامل پنجم نزدیکی به مکان‌های پررفت‌وآمد مانند ادارات، بانک‌ها، ایستگاه‌های اتوبوس، مراکز خرید، مدارس و موارد مشابه به آن‌ها می‌باشد. این مناطق از شهر می‌تواند مرکزی برای شیوع و تکثیر بیماری باشد. عامل ششم دسترسی به منابع پزشکی و ظرفیت پاسخ‌دهی مراکز درمانی در مقابله با بیماری می‌باشد. دسترسی هرچه کمتر به این منابع، رابطه مستقیمی با شیوع بیشتر دارد. همچنین با توجه به گذشت زمان از شروع گسترش بیماری و کاهش استفاده از ماسک و مواد ضدعفونی‌کننده به‌عنوان نمونه‌ای از عوامل توجه به نکات بهداشتی، می‌توان میزان رعایت نکات بهداشتی را به‌عنوان عامل بعدی در نظر گرفت.

آخرین عامل، وجود و تراکم بیماران مبتلا به کرونا در مناطق مختلف می‌باشد. در هر منطقه از شهر که تعداد بیماران مبتلا بیشتری حضورداشته باشند قابلیت بیشتری برای گسترش بیماری وجود دارد.

۵-۱- داده و منطقه مورد مطالعه

برای پیاده سازی شهر مقدس قم بخاطر امکان دسترسی به داده آن، انتخاب شد. اولین مورد ابتلا به بیماری کرونا در کشور ایران در تاریخ ۲۸ دی ماه سال ۱۳۹۸ در این شهر شناسایی شد [۳۴] و سپس به سایر شهرهای کشور انتقال یافت. این شهر اولین بار در تاریخ ۳ فروردین ۱۳۹۹ به دلیل افزایش مبتلایان و قرارگیری در وضعیت قرمز بیماری تحت قرنطینه کامل قرار گرفت و از آن تاریخ به بعد این شرایط چندین بار در موج‌های بعدی بیماری تکرار شد. طبق آمار تا تابستان ۱۴۰۱ حدود ۱۰۰۰۰۰ مبتلای جدید و ۱۸۰۰ مرگومیر در این شهر گزارش شده است.

داده‌های بیماران مبتلا به بیماری کرونا که به صورت توصیفی و شامل قلم‌های نام، سن، جنسیت به همراه محل سکونت بیماران و تاریخ مراجعه به مراکز درمانی در بازه زمانی خردادماه سال ۱۳۹۹ تا اسفندماه سال ۱۳۹۹ می‌باشد، از سازمان بهداشت و درمان استان دریافت گردید. برای استفاده از داده‌های مربوط به مبتلایان بیماری کرونا در مدل پیشنهادی، نخست با کدبندی مکانی^۱ آدرس‌های توصیفی به موقعیت‌های مکانی تبدیل شدند. با توجه به کامل نبودن این داده‌ها در برخی از روزها، واحد زمان دو روز در نظر گرفته شد.

داده بلوک جمعیتی از اداره آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان دریافت و نقشه‌های تراکم جمعیت و تراکم جمعیت سالمندان از آن تولید شد. همچنین برای تولید نقشه جابجایی مکانی از مدل جاذبه^۲ بر روی این داده‌ها استفاده شد. مدل جاذبه روشی رایج برای محاسبه جابجایی مکانی است. در این مدل میزان جمعیت بلوک‌های جمعیتی به عنوان عامل جاذبه در نظر گرفته شده و میزان جاذبه هر بلوک جمعیتی در یک شعاع تاثیر که در این پژوهش ۳ کیلومتر در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود.

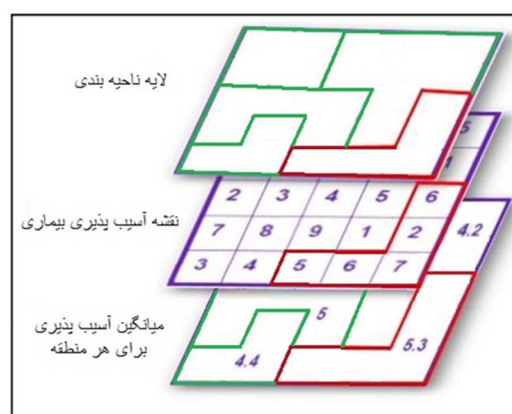
بانک‌ها، ایستگاه‌های اتوبوس، مدارس، ادارات، مساجد و اماکن و مراکز خرید شهر قم به عنوان محل‌های پررفت‌وآمد در نظر گرفته شد.

نقشه پیش‌بینی تراکم بیماران که در مرحله پیشین به کمک سیستم پیشنهادی ANFIS برای پیش‌بینی موقعیت بیماران جدید با استفاده از بیماران روزهای گذشته استفاده شد عامل دیگر ورودی به سیستم خبره است.

سایر مراحل پیاده‌سازی یک سیستم خبره مانند معرفی توابع عضویت و یا تعریف قواعد مشابه روش‌های متداول انجام می‌پذیرد. خروجی این مرحله را می‌توان نقشه آسیب‌پذیری شیوع بیماری با استفاده از پیش‌بینی این بیماری دانست.

۴-۳- اعمال هوشمند محدودیت‌ها

مرحله آخر اعمال محدودیت‌های مشاغل می‌باشد. ورودی‌های این مرحله علاوه بر نقشه آسیب‌پذیری شیوع بیماری، نقشه ناحیه‌بندی ارگان‌های ذی‌ربط می‌باشد. به عنوان مثال وزارت آموزش و پرورش به عنوان ارگان تصمیم‌گیرنده برای مدارس از نقشه آسیب‌پذیری استفاده کرده و مدارس که طبق این نقشه در شرایط مشخصی بوده را تعطیل کرده درحالی‌که سایر مدارس نیاز به تعطیلی نداشته و می‌توانند به فعالیت عادی خود ادامه دهند (شکل ۴). البته نباید فراموش کرد که برای نمونه مدارس باز فقط برای دانش‌آموزان ساکن در همان منطقه و یا سایر مناطق مجاز دیگر، قابل استفاده خواهد بود.



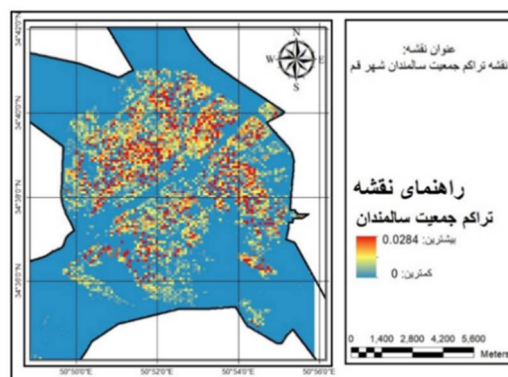
شکل ۴: مثالی برای برهم‌نهی دو نقشه

۵- پیاده‌سازی و ارزیابی

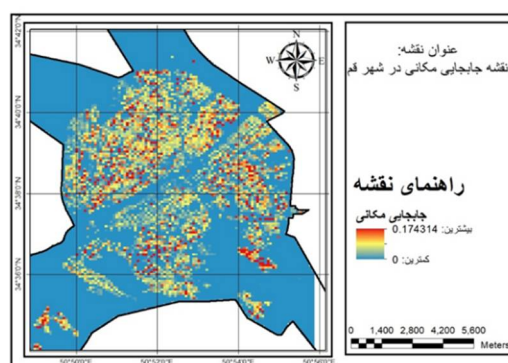
در این فصل نخست منطقه مورد مطالعه و داده‌های آن تشریح شده و سپس نتایج پیاده‌سازی ارائه می‌شود.

^۱ Geocoding

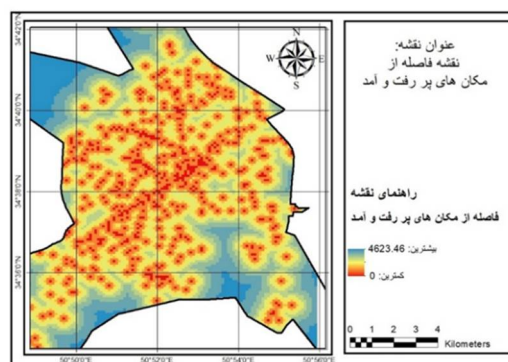
^۲ Gravity model



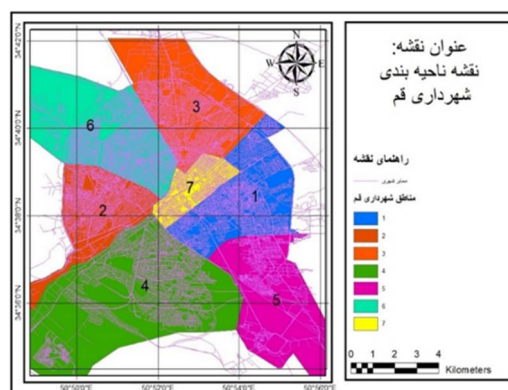
شکل ۵: نقشه تراکم جمعیت سالمندان



شکل ۶: نقشه جابجایی



شکل ۷: فاصله از مکان‌های پررفت‌وآمد



شکل ۸: منطقه‌بندی شهرداری قم

استان قم اخذ شد. داده‌های منطقه‌بندی نیز از ارگان و سازمان متولی دریافت شد. شکل‌های ۵ تا ۸ چند نمونه از نقشه‌های تولید شده می‌باشند.

۵-۲- اجرای عملی و ارزیابی

مقادیر بیماری در روزهای مختلف ورودی سیستم ANFIS می‌باشند. ۷۰ درصد از این داده‌ها جهت آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده داده‌ها برای آزمودن سیستم و ارزیابی آن استفاده شد.

ابتدا داده‌ها با استفاده از روش‌های فازی، کاهشی و ترکیبی خوشه‌بندی می‌شوند. خوشه‌بندی علاوه بر کاهش پیچیدگی محاسبات، برای مقداردهی اولیه نیز استفاده شده‌است. سپس با استفاده از نتایج حاصل از خوشه‌بندی، آموزش سیستم ANFIS انجام می‌شود. در مرحله سوم با استفاده از داده‌های آزمون، سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته و در مرحله آخر نقشه پیش‌بینی برای یک روز خاص تولید می‌شود. همانگونه که پیشتر نیز اشاره شد، سیستم طراحی شده با سه روش خوشه‌بندی اجرا می‌شود. در بخش ارزیابی مقایسه نتایج سه روش آورده خواهد شد. در جدول ۲ کارگزاران سیستم در سه نوع خوشه‌بندی آورده شده‌است.

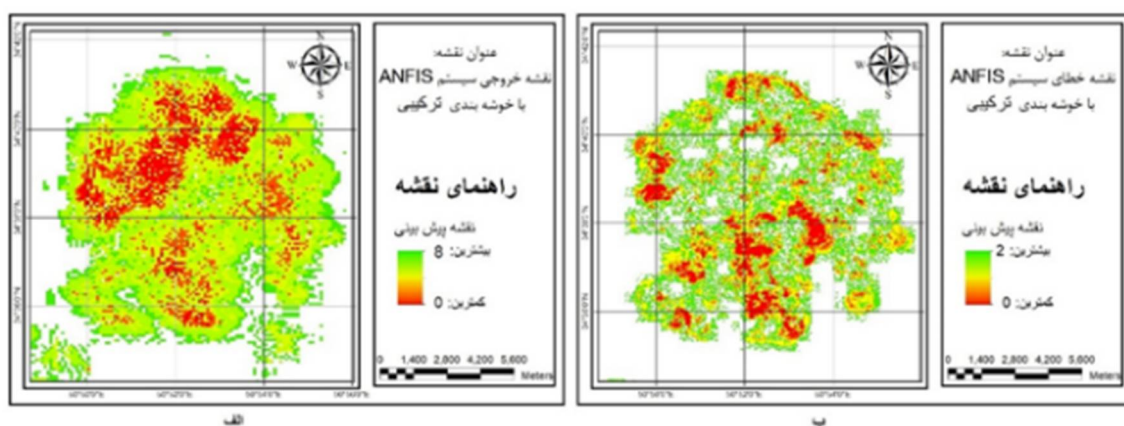
جدول ۲: مشخصات سیستم اجرا شده با سه نوع خوشه‌بندی

عنوان	فازی	کاهشی	ترکیبی
تعداد تکرار	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
تعداد خوشه	۴	۳	۳
تعداد گره	۵۶	۴۴	۴۴
تعداد کارگزاران تنظیم‌پذیر	۶۴	۴۸	۴۸
تعداد داده آموزشی	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
تعداد داده آزمون	۲۸	۲۸	۲۸

برای نمونه نقشه‌های پیش‌بینی میزان مبتلایان به بیماری برای سی‌اذر ماه ۱۳۹۹ برای روش ترکیبی به همراه نقشه خطای آن در شکل ۹ دیده می‌شود.

در جدول ۴ مقایسه سه روش را می‌توان دید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خوشه‌بندی فازی بیشترین میزان خطا را و خوشه‌بندی ترکیبی کمترین میزان خطا را دارا می‌باشد. بنابراین از نتایج سیستم فازی عصبی تطبیقی که با روش خوشه‌بندی ترکیبی خوشه‌بندی شده برای اجرای مراحل بعدی مدل استفاده شد.

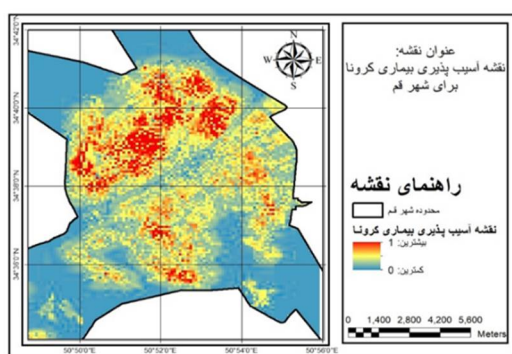
همچنین برای تولید نقشه میزان دسترسی به منابع پزشکی، موقعیت مراکز درمانی شهر از سازمان بهداشت



شکل ۹: الف) نقشه پیش‌بینی، ب) نقشه خطای پیش‌بینی

جدول ۴: خطاهای سه روش خوشه‌بندی

روش خوشه‌بندی فازی	روش خوشه‌بندی کلاسیکی	روش خوشه‌بندی ترکیبی
مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	۰/۷۱۰۵۰	۰/۷۱۰۵۰
مقدار RMSE برای داده‌های آزمون	۰/۲۳۶۱۸	۰/۲۶۴۵۳
مقدار RMSE برای نقشه کلی	۰/۹۶۸۲۶	۰/۵۳۲۹۴



شکل ۱۰: نقشه آسیب‌پذیری بیماری در شهر قم

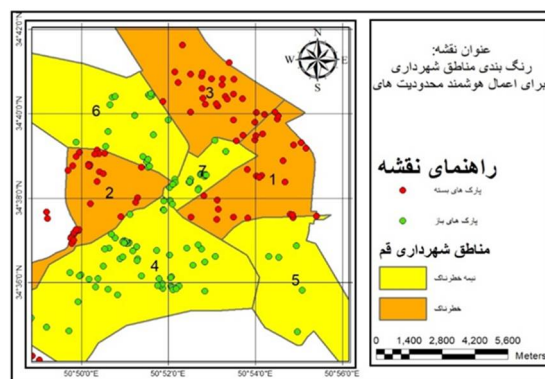
برای نمونه شهرداری قم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. شهر قم دارای هشت منطقه بوده که از این بین هفت منطقه در محدوده مورد پژوهش تحقیق حاضر قرار دارد. این مناطق در شکل ۸ نمایش داده شده‌اند. مشاغل مرتبط با حمل‌ونقل شهری، مشاغل مرتبط با پارک‌ها و بوستان‌ها و مشاغل مرتبط با میادین میوه و تره‌بار از جمله موارد تحت نظر این ارگان می‌باشند. وضعیت رنگ‌بندی نواحی این ارگان پس از محاسبه از روی نقشه آسیب‌پذیری در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شوند.

برای بخش استنتاج فازی، از روش استنتاج ممدانی با ۶ عامل ورودی نقشه‌های تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالمندان، جابجایی مکانی، فاصله از منابع بهداشتی و فاصله از مناطق پر ازدحام و پر رفت‌وآمد استفاده شد. برای عملگر غیرفازی‌ساز نیز گرانیگاه^۱ استفاده شد. برای خروجی یا همان نقشه آسیب‌پذیری بیماری، چهار کلاس عادی، نیم خطرناک، خطرناک و بسیار خطرناک تعریف شد. پایگاه دانش طراحی شده حاوی ۱۲۸ قاعده بوده‌است. در شکل ۱۰ نمونه خروجی نهایی سیستم برای تاریخ ۳۰ آذر دیده می‌شود.

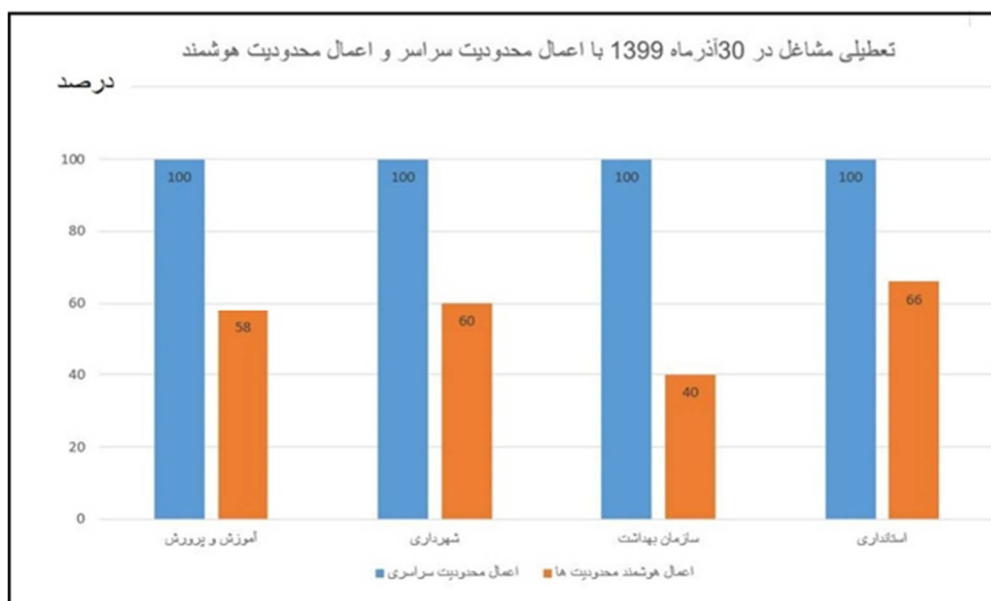
بر مبنای نقشه آسیب‌پذیری محاسبه شده از ترکیب مقادیر پیش‌بینی بیماری کووید در ۳۰ آذرماه ۱۳۹۹ با سایر عوامل تأثیرگذار، حال با شناسایی مناطق با سطوح مختلف خطر، می‌توان محدودیت‌ها را به‌صورت هوشمندانه معین کرد.

از برهم‌نهی منطقه‌ها و محله‌های هر دستگاه با این نقشه می‌توان نحوه و جزییات اعمال محدودیت را تعیین کرد.

^۱ Center of gravity



شکل ۱۱: وضعیت مناطق شهرداری بعد از برهم‌نهی



شکل ۱۲: مقایسه تعطیلی سراسری با هوشمند

برای اعمال هوشمند محدودیت‌های مشاغل، عمده عوامل موثر را بر مبنای فعالیت‌های پیشین شامل تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالمندان، جابجایی مکانی، فاصله از مکان‌های پررفت‌وآمد و یا پرازدحام، دسترسی به منابع پزشکی و تعداد مبتلایان به بیماری کرونا را برگزیدیم. بر مبنای نتیجه نهایی سیستم، ارگان‌های مرتبط می‌توانند راجع به اعمال محدودیت‌های محلی تصمیم بگیرند. در این پژوهش محدودیت‌گذاری برای چهار دستگاه و یا ارگان شهرداری، استانداری، وزارت بهداشت و آموزش و پرورش برای ۳۰ آذرماه انجام شد. گرچه ۳۰ آذر تعطیل عمومی اعلام شده بود ولی مطابق شکل ۱۲، مشاغل برخی مناطق شهری برای این چهار ارگان می‌توانستند با رعایت پروتکل‌های بهداشتی به فعالیت خود ادامه دهند.

۶- نتیجه‌گیری

تجربیات اخیر نشان داده که قرنطینه عمومی و تعطیلی مشاغل نه تنها موجب زیان مالی و اقتصادی شده بلکه منجر به صدمات روحی و اجتماعی نیز خواهد شد. برای اجتناب از این معضل، اعمال محدودیت‌های هوشمند بسیار منطقی و ضروری می‌نماید.

با توجه به وضعیت بسیار سخت پیش‌بینی بیماری کووید از روش ANFIS برای پیش‌بینی آن استفاده کردیم. این روش علاوه بر محاسن شبکه عصبی مانند توانایی یادگیری و خودآموزی، امکان پشتیبانی متغیرهای زبانی و البته عناصر نایقینی را نیز دارد. برای حل مشکل خوشه‌بندی در روند انجام ANFIS، روش خوشه‌بندی ترکیبی را بر مبنای خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی توسعه دادیم.

مراجع

- [۱] Gordis L. (2004) Epidemiology, 3rd edition, Saunders.
- [۲] Wu F, Zhao S, Yu B, Chen YM, Wang W, Song ZG, Hu Y, Tao ZW, Tian JH, Pei YY, Yuan ML, Zhang YL, Dai FH, Liu Y, Wang QM, Zheng JJ, Xu L, Holmes EC, Zhang YZ. (2020), Author Correction: A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*. 2020 Apr; 580(7803):E7. doi: 10.1038/s41586-020-2202-3. Erratum for: *Nature*. 2020 Mar; 579(7798):265-269. PMID: 32296181; PMCID: PMC7608129.
- [۳] Cromly E.K., McLafferty S.L. (2011), GIS and Public Health, 2nd Edition 2nd Edition, The Guilford Press..
- [۴] Malek M.R. Pileh Foroosha P.(2015), A Comparison between Traditional and Intuitionistic Fuzzy Logic for Vulnerability Mapping Under Uncertainty, *Emergency Management*, 3(2),P. 5-13. (In Persian)
- [۵] Pouladi, M., Entezari, M., Hashemi M., Bahonar A., Hushmandi K., Raei, M. (2020). Investigating the Efficient Management of Different Countries in the COVID-19 Pandemic. *JOURNAL OF MARINE MEDICINE*, 2(1), 18-25. SID. <https://sid.ir/paper/408367/en>
- [۶] Zadeh L., Aliev R.A. (2018), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFISs), Chapter 16 of Fuzzy Logic Theory and Applications, World Scientific.
- [۷] Mollalo, A., B. Vahedi, and K.M. Rivera, GIS-based spatial modeling of COVID-19 incidence rate in the continental United States (2020). *Science of the total environment*, 728: p. 138884.
- [۸] Xie Z, Qin Y, Li Y, Shen W, Zheng Z, Liu S. (2020), Spatial and temporal differentiation of COVID-19 epidemic spread in mainland China and its influencing factors. *Sci Total Environ*. 2020 Nov 20;744:140929.
- [۹] Andersen LM, Harden SR, Sugg MM, Runkle JD (2021), Lundquist TE. Analyzing the spatial determinants of local Covid-19 transmission in the United States. *Sci Total Environ*. 2021 1;754:142396.
- [۱۰] Han Y, Yang L, Jia K, Li J, Feng S, Chen W, Zhao W, Pereira P. (2021), Spatial distribution characteristics of the COVID-19 pandemic in Beijing and its relationship with environmental factors. *Sci Total Environ*. 20;761:144257
- [۱۱] Laroze, D., E. Neumayer, and T. Plümper, (2021), COVID-19 does not stop at open borders: Spatial contagion among local authority districts during England's first wave. *Social Science & Medicine*, 270: p. 113655.
- [۱۲] Hamidur R., Zafri M.N., Ashik F.R. , Waliullah M. (2020), GIS-based spatial modeling to identify factors affecting COVID-19 incidence rates in Bangladesh, *medRxiv* 2020.08.16.20175976.
- [۱۳] Kodera, S., E.A. Rashed, and A. (2020), Hirata, Correlation between COVID-19 morbidity and mortality rates in Japan and local population density, temperature, and absolute humidity. *International journal of environmental research and public health*, 17(15): p. 54-77.
- [۱۴] Manzak, D. and A. Manzak, (2020), Analysis of environmental, economic, and demographic factors affecting Covid-19 transmission and associated deaths in the USA. *Economic, and Demographic Factors Affecting COVID-19 Transmission and Associated Deaths in the USA*.
- [۱۵] Rashed EA, Kodera S, Gomez-Tames J, Hirata A. (2020), Influence of Absolute Humidity, Temperature and Population Density on COVID-19 Spread and Decay Durations: Multi-Prefecture Study in Japan. *Int J Environ Res Public Health*. 17(15):5354.
- [۱۶] Zhang, Y., Li Y., Yang B., Zheng X. (2020), Risk assessment of COVID-19 based on multisource data from a geographical viewpoint. *IEEE Access*, 2020. 8: p. 125702-125713.
- [۱۷] Kong, J.D., E.W. Tekwa, and S.A. Gignoux-Wolfsohn, (2021), Social, economic, and environmental factors influencing the basic reproduction number of COVID-19 across countries. *PloS one*, 16(6): p. e0252373.
- [۱۸] Fathollahi, S.N., et al., SPATIAL MODELLING OF COVID-19 INCIDENCE RATE IN CANADA. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2022. 43: p. 111-116.
- [۱۹] Mollalo, A., K.M. Rivera, and B. Vahedi, (2020). Artificial neural network modeling of novel coronavirus (COVID-19) incidence rates across the continental United States. *International journal of environmental research and public health*, 17(12): p. 4204.
- [۲۰] Nasiri R, Akbarpour S, Zali AR, Khodakarami N, Boochani MH, Noory AR, Soori H. (2022), Spatio-temporal analysis of COVID-19 incidence rate using GIS: a case study-Tehran metropolitan., *GeoJournal*.v87(4):3291-3305
- [۲۱] Kianfar, N. and M.S. Mesgari, (2022), GIS-based spatio-temporal analysis and modeling of COVID-19 incidence rates in Europe. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 41: p. 100498.

- [۲۲] Kotov E.A., Goncharov R.V., Kulchitsky Y.V., Molodtsova V. A., Nikitin B.V. (2020), Spatial Modelling of Key Regional-Level Factors of Covid-19 Mortality In Russia. *Geography, Environment, Sustainability*, 15(2): p. 71-83.
- [۲۳] Ma, J., Haihong Z., Peng L., Chengcheng L., Feng L., Zhenwei L., Meihui Z., Lin L., (2022), Spatial Patterns of the Spread of COVID-19 in Singapore and the Influencing Factors, *ISPRS International Journal of Geo-Information* ; 11(3), p.152,
- [۲۴] Lak A, Sharifi A, Badr S, Zali A, Maher A, Mostafavi E, Khalili D. (2021), Spatio-temporal patterns of the COVID-19 pandemic, and place-based influential factors at the neighborhood scale in Tehran. *Sustain Cities Soc*;72:103034.
- [۲۵] Cao W, Chen C, Li M, Nie R, Lu Q, Song D, Li S, Yang T, Liu Y, Du B, Wang X. (2021), Important factors affecting COVID-19 transmission and fatality in metropolises. *Public Health*. Jan;190:e21-e23.
- [۲۶] Khan, S.D., L. Alarabi, and S. Basalamah, Toward smart lockdown: a novel approach for COVID-19 hotspots prediction using a deep hybrid neural network. *Computers*, 2020. 9(4): p. 99.
- [۲۷] Fang, H ,L. Wang, and Y. Yang, Human mobility restrictions and the spread of the novel coronavirus (2019-nCoV) in China. *Journal of Public Economics*, 2020. 191: p. 104272.
- [۲۸] O'Donoghue, A., Dechen, T., Pavlova, W. (2021). Reopening businesses and risk of COVID-19 transmission. *npj Digit. Med.* 4, 51.
- [۲۹] Choi, K., H. Choi, and B. Kahng, (2022), Covid-19 epidemic under the K-quarantine model: Network approach. *Chaos, Solitons & Fractals*, 157: p. 111904.
- [۳۰] Ladha, R.S. (2020), Coronavirus: A framework to decide between national and local lockdown. *Journal of Health Management*, 2020. 22(2): p. 215-223.
- [۳۱] Fontán-Vela, M., P. Gullón, and J. Padilla-Bernáldez (2021), Selective perimeter lockdowns in Madrid: a way to bend the COVID-19 curve? *European Journal of Public Health*, 31(5): p. 1102-1104.
- [۳۲] Li Y., Undurraga E.A, Zubizarreta J.R. (2022), Effectiveness of Localized Lockdowns in the COVID-19 Pandemic. *Am J Epidemiol*. Mar 24;191(5):812-824
- [۳۳] Jang, J.-S., Sun C.-T., Mizutani and E., (1997), *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Pearson College Div;
- [۳۴] IRNA.ir (Retrieved: Dec. 2023),
<https://www.irna.ir/news/83682059/%DA%A9%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%A7-%D8%AF%D8%B1-%D9%82%D9%85-%D9%87%D9%85%D9%87-%DA%86%DB%8C%D8%B2-%D8%A7%D8%B2-%DB%8C%DA%A9-%D8%A2%D8%B2%D9%85%D8%A7%DB%8C%D8%B4-%D8%B4%D8%B1%D9%88%D8%B9-%D8%B4%D8%AF>