

مدل سازی پراکندگی زمانی و مکانی گسترش ویروس کرونا (مطالعه موردی: استان های قم و مازندران)

وحید عیسی زاده

کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تهران
میثم ارگانی*

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تهران
ابوالفضل قنبری

دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تبریز
حسین محمدی

استاد گروه جغرافیایی طبیعی (اقلیم شناسی)، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۵)

چکیده

ویروس کرونا عامل یکی از بیماری های واگیردار و عفونی سده بیست و یکم است که از اواخر دسامبر ۲۰۱۹ تا اوایل آوریل ۲۰۲۰ در جهان گسترش یافت. در پژوهش حاضر، مدل سازی پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا با استفاده از مدل رگرسیون وزن دار مکانی انجام گرفت و نتایج با مدل حداقل مربعات، برای سه شاخص (مبتلایان، فوت شدگان و بهبودیافتگان) برای استان های قم و مازندران در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ مقایسه شد. همچنین برای تحلیل سه شاخص ویروس کرونا از الگوی خودهمبستگی مکانی موران استفاده شد. علت انتخاب استان مازندران و قم به عنوان مناطق مطالعه در پژوهش حاضر، مسافرت های زیارتی و سیاحتی بود. همچنین این دو استان از اولین استان های درگیر با ویروس کرونا در کشور بودند. نتایج پژوهش نشان می دهد که پراکندگی مبتلایان در استان قم در طی دوره زمانی ذکر شده، ۴۴/۲۵ درصد و پراکندگی فوت شدگان ۴/۳۴ درصد بود. پراکندگی مکانی این شاخص ها بیشتر در قسمت های شمال غربی و جنوبی شهرهای استان قم بود. اما پراکندگی بهبودیافتگان برای این استان ۶۱/۰۷ درصد بود که بیشتر در قسمت های مرکزی استان دیده شد. پراکندگی زمانی و مکانی مبتلایان ویروس کرونا در استان مازندران در طی دوره زمانی ذکر شده ۳۵/۵۷ درصد و پراکندگی فوت شدگان ۲/۶۱ درصد بود. بیشتر مبتلایان و فوت شدگان از نظر مکانی در قسمت شمالی این استان دیده شدند. بهبودیافتگان براساس مدل حداقل مربعات در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹، بیشتر در قسمت های مرکزی و بخشی های کوچکی از قسمت های جنوبی این استان پراکنده بودند. بنابر نتایج پژوهش حاضر، براساس مدل های رگرسیون وزن دار مکانی و حداقل مربعات، مهم ترین عامل پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا در استان های قم و مازندران، سفرهای گردشگری و زیارتی است. از این رو ممنوعیت سفر به این استان ها و ارائه خدمات سازمان ها و ادارات به صورت الکترونیکی و غیر حضوری با هدف کاهش حضور مردم در جامعه و قرنطینه خانگی، پیشنهاد پژوهش حاضر به منظور کاهش پراکندگی مکانی ویروس کرونا در استان های قم و مازندران است.

واژه های کلیدی: استان های قم و مازندران، خودهمبستگی مکانی موران، مدل رگرسیون وزن دار مکانی و حداقل مربعات، ویروس کرونا.

مقدمه

در اواخر دسامبر ۲۰۱۹، عامل میکروبی ناشناخته‌ای به نام ویروس کرونا (SARS-COV-2) در ووهان چین به سرعت از مرزهای این کشور عبور کرد و در همه کشورهای جهان شیوع یافت و تا ۲۵ مارس ۲۰۲۰، ۱۹۶ کشور جهان را تحت تأثیر قرار داد [۱۷، ۱۱]. این ویروس عضو خانواده کرونا ویروس از راسته نیدوویرال و یک RNA ویروس بزرگ تک‌رشته‌ای است [۲۲]. سازمان ملل متحد، بیماری کرونا را بحران عظیم اجتماعی، انسانی و اقتصادی توصیف کرد که عوارض آن، حتی بر کشورهای توسعه‌یافته نیز تأثیر می‌گذارد، به طوری که ادامه روند شیوع این بیماری، نظام بهداشت جهان را با مشکل مواجه خواهد کرد که نتیجه آن ایجاد بحران جمعیتی در کره زمین خواهد بود [۲۰، ۲۵]. ایجاد و شدت همه‌گیری بیماری‌های واگیردار، بسیار وابسته به "قدرت عفونت‌زایی بیماری" است که خود به راه سرایت و شدت سرایت بستگی دارد [۱۶، ۶]. بنابراین برای ارزیابی مخاطره ویروس کرونا باید همه اطلاعات موجود به راحتی در اختیار باشد و از آنها برای شناسایی مکان‌های در معرض خطر زیاد استفاده کرد. با گسترش بسیار سریع و رسیدن این ویروس به بیش از ۱۸۵ کشور جهان، به ابزار سریع‌تر فناوری اطلاعات نیاز است. بنابراین نظام اطلاعات جغرافیایی، اهمیت زیادی در تجزیه و تحلیل فضایی این ویروس همه‌گیر دارد [۲۶]. یکی از کاربردهای اصلی علم اپیدمیولوژی یا همه‌گیرشناسی، تسهیل در شناسایی مناطق جغرافیایی و گروه‌های در معرض خطر، با انتخاب مناسب‌ترین اقدامات بهداشتی - درمانی و اجتماعی به منظور کاهش عوامل خطر آفرین است [۲۶]. کارشناسان بهداشت از حدود ۱۵۰ سال پیش برای تجزیه و تحلیل مکانی بیماری‌ها از نقشه استفاده می‌کنند [۲۳]. اپیدمیولوژی جغرافیایی، بخشی از همه‌گیرشناسی توصیفی است که به بررسی توزیع جغرافیایی میزان ابتلا و مرگ‌ومیر می‌پردازد [۱۲]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای همه‌گیرشناسی جغرافیایی، دستیابی به سرخ‌هایی برای تعیین علل بیماری‌ها یا آسیب یا مرگ‌ومیر است [۵]. نخستین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌های جغرافیایی، به تصویر کشیدن آنها به‌ویژه در قالب نقشه‌های جغرافیایی است [۱۶]. سال‌هاست که از GIS در بخش‌های کشاورزی، اقتصادی، منابع طبیعی، طراحی شهری و مدل‌سازی بیماری‌ها استفاده می‌شود [۲۴]. با این حال استفاده از GIS در مدیریت بهداشت و درمان در مراحل ابتدایی است [۷]. ظرفیت مدل‌سازی مکانی در GIS به‌طور مستقیم در توزیع مکانی بیماری‌ها و ارتباط آنها با عوامل محیطی و سیستم مراقبت‌های بهداشتی کاربرد دارد، به طوری که در حال حاضر فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مهم در تحقیقات و مدیریت بهداشتی در زمینه بیماری‌های

عفونی است [۱۵]. با توجه به فراگیر شدن ویروس کرونا در بیشتر کشورهای جهان به‌ویژه ایران تحقیقاتی صورت گرفته است. رهنما و بازرگان (۱۳۹۹)، الگوهای مکانی و زمانی اپیدمی ویروس کووید ۱۹ در ایران را با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و مدل‌سازی پخش فضایی تحلیل کردند و دریافتند که مهم‌ترین عامل جغرافیایی انتشار ویروس کرونا در کشور، فاصله و مجاورت استان‌های درگیر با بیماری کووید ۱۹ است که از الگوی پخش فضایی سازش‌پذیری تبعیت می‌کند [۲]. ابوالفضل و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی جغرافیایی ویروس کرونا و تغییرات این ویروس در سراسر ایالات متحده آمریکا را بررسی کردند. آنها برای بررسی پراکندگی این ویروس از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و مدل چندمقیاسه استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی عملکرد چشمگیری در پراکندگی تغییرات ویروس کرونا نسبت به مدل چندمقیاسه داشته است [۴]. پورقاسمی و همکاران (۲۰۲۱) مخاطره عوامل شیوع ویروس کرونا را تحلیل کردند تا مناطق پرخطر شناسایی و رفتار عفونت در استان فارس ارزیابی شود. آنها از الگوریتم یادگیری ماشین مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، برای ارزیابی خطر شیوع ویروس کرونا در استان فارس استفاده کردند [۱]. جیا و همکاران (۲۰۲۱) مدلی دینامیکی برای توصیف انتقال ویروس کرونا با در نظر گرفتن رابطه بین میزان انتشار ویروس و شرایط آب‌وهوایی معرفی کردند و نشان دادند که شاخص هوا مهم‌ترین عامل آب‌وهوایی در انتقال ویروس است [۱۴]. ابراهیم علی (۲۰۲۰) برای پراکندگی مکانی خطر ویروس کرونا، جمعیت و تراکم جمعیت مکه را بررسی کرد. او برای پراکندگی مکانی این ویروس از یک تحلیل مکانی با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان داد که ارتباط مثبت قوی (ضریب تعیین ۰/۹۶) بین ویروس کرونا، جمعیت و تراکم جمعیت در مکه وجود دارد [۱۳]. چن و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از یک مدل فضایی-زمانی بیزی، توزیع ویروس کرونا و ارتباط آن با مهاجرت جمعیت ووهان را در مراحل اولیه شیوع، بررسی کردند و دریافتند که مدل فضایی-زمانی بیزی از اهمیت بسیار زیادی برای هشدار توزیع سریع و جلوگیری از شیوع این ویروس در آینده برخوردار است [۹]. با توجه به همه‌گیری سریع این ویروس، مکان‌ها و رخدادها عمومی از جمله مدارس، مراکز آموزش عالی و دانشگاه‌ها، اکران‌های سینمایی، کنسرت‌ها و نمایش‌های تئاتر، مسابقات و لیگ‌های ورزشی کشوری تعطیل شد و ساعات کاری ادارات کاهش یافت. ایستگاه‌های غربالگری درجه حرارت، در ورودی‌های مختلف شروع به کار کردند. برای کاهش تحرکات اجتماعی و شکستن زنجیره انتقال ویروس کرونا، کمپین در خانه می‌مانیم راه‌اندازی شد و از مردم خواسته شد از خانه‌های خود خارج نشوند تا زنجیره انتقال ویروس کرونا در بین

استان‌های کشور شکسته شود. پس از گذشت زمان و با افزایش بروز ویروس، دولت طرح فاصله‌گذاری اجتماعی را به اجرا درآورد. پس از اجرای طرح فاصله‌گذاری اجتماعی، ابتلا و مرگ‌ومیر ناشی از ویروس کرونا در بین استان‌های قم و مازندران کاهش یافت. آیا قابلیت در نظر گرفتن شرایط ذهنی متفاوت برای مدل‌سازی پراکندگی گسترش زمانی و مکانی ویروس کرونا با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی و مقایسه آن با حداقل مربعات وجود دارد؟ این پژوهش با هدف بررسی پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا از نظر سه شاخص (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ در استان‌های قم و مازندران انجام گرفت و همچنین برای تحلیل سه شاخص (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) از الگوی خودهمبستگی مکانی موران استفاده شد.

روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش بررسی توصیفی-تحلیلی است. شیوه جمع‌آوری داده‌ها اسنادی و میدانی است. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Arc GIS 5.3 استفاده شد. جامعه آماری پژوهش حاضر، سه شاخص ویروس کرونا شامل فوت‌شدگان، مبتلایان و بهبودیافتگان استان‌های قم و مازندران در محدوده زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ از بخش آماری دانشگاه‌های علوم پزشکی مناطق تحقیق دریافت شد. دومین داده استفاده‌شده در این پژوهش، نقشه مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری است که از سایت (<https://search.asf.alaska.edu>) اخذ شد. این سه شاخص ویروس کرونا در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این پژوهش ابتدا از سه شاخص مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان استان‌های قم و مازندران به صورت ماهانه میانگین گرفته شد. به منظور مدل‌سازی گسترش پراکندگی زمانی و مکانی این سه شاخص از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و مدل حداقل مربعات در قالب دو مدل متفاوت در نرم‌افزار Arc GIS 5.3 استفاده شد. برای اجرای مدل‌های ذکرشده ابتدا سه شاخص ویروس کرونا با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله درون‌یابی شدند. در ادامه نقشه مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری به همراه نقشه‌های درون‌یابی‌شده سه شاخص ویروس کرونا برای وارد شدن به مدل‌های ذکرشده به Feature از نوع پلیگون تبدیل شدند. سپس برای همپوشانی نقشه رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری و نقشه‌های وکتوری تولیدشده شاخصی از نوع Intersection گرفته شد. در جدول توصیفات فیلدی به نام Weight که مقدار آن بر مبنای ارتفاع تعریف شد، هر منطقه‌ای که دارای ارتفاع بیشتری بود وزن بیشتری به آن تعلق

گرفت. در مرحله آخر برای همبستگی میان سه شاخص از یک الگوی تحلیلی به نام خودهمبستگی مکانی موران استفاده شد.

مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی، یک مدل آماری است که برای مطالعه الگوهای موضعی سازگار شده است. این مدل وزن بیشتری به مشاهدات نزدیک‌تر و وزن کمتر یا صفر را به آنهایی که در دوردست هستند اختصاص می‌دهد [۲۱]. مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی از طریق رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \delta_i \quad (1)$$

y داده درون‌یابی شده در موقعیت I ، مقدار β_0 عرض از مبدأ، β_k برابر با K_{kh} پارامتر موضعی در I_{th} موقعیت، X_{ik} نشان‌دهنده K_{th} متغیر مستقل در I_{th} موقعیت و n بیانگر موقعیت قبلی است.

مدل حداقل مربعات، در بین مدل‌های رگرسیون متداول، روش حداقل مربعات، ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش است [۱۰]. مدل حداقل مربعات از طریق رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

که در آن y متغیر وابسته (برآورد شده)، X متغیر مستقل (برآورد کننده) خطا ε یا انحراف مدل در برآورد β_0 و β_1 پارامترها یا ضرایب مدل هستند. برای همه نقاط، مقادیر β_0 و β_1 ثابت فرض می‌شود.

تحلیل خودهمبستگی مکانی موران، نشان‌دهنده همبستگی میان مقادیر و متغیرهای یکسان در مکان‌های مختلف است، به عبارت دیگر خودهمبستگی مکانی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر به‌طور تصادفی در فضا توزیع شده و ظاهراً نباید بین آنها ارتباطی وجود داشته باشد [۱۹]. تحلیل خودهمبستگی مکانی موران از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{so \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})} \quad (3)$$

X_i ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحد ناحیه‌ای i ، و n تعداد واحدهای ناحیه‌ای و W_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j است.

جدول ۱. میانگین ماهانه شاخص‌های ویروس کرونا استان مازندران بر حسب درصد (منبع، بخش آماری دانشگاه علوم پزشکی استان مازندران)

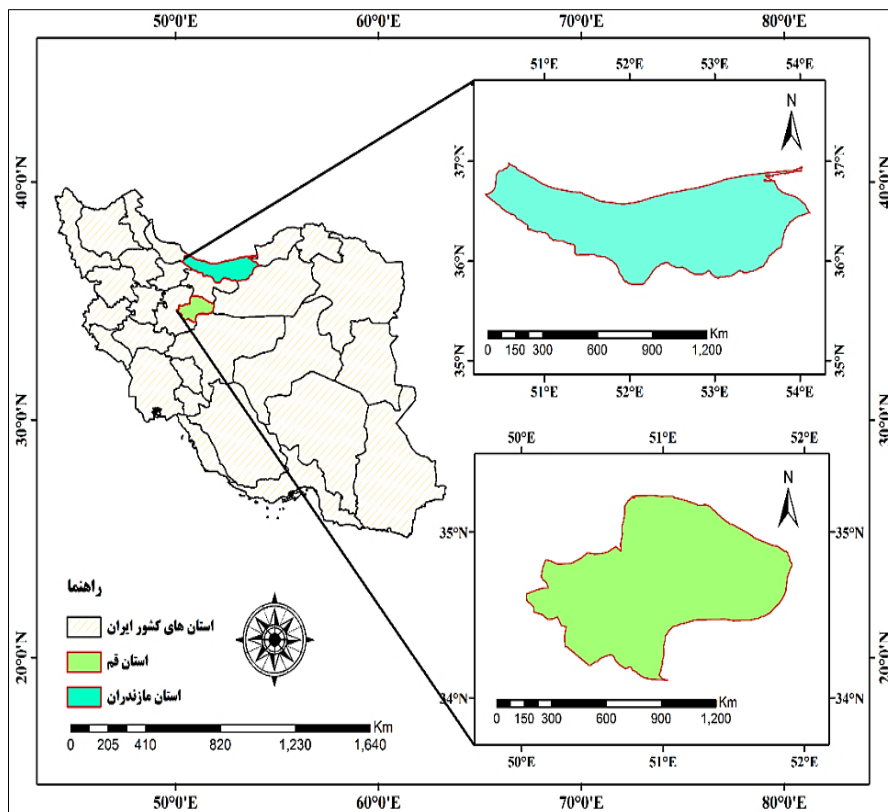
ماه	فوت‌شدگان	مبتلایان	بهبودیافتگان
اسفند	۱/۴۶	۲۴/۴۳	۲۵/۵۶
فروردین	۲/۵۶	۲۵/۴۳	۳۸/۰۶
اردیبهشت	۱/۷۳	۳۹/۳۴	۴۱/۸
خرداد	۱/۶۴	۱۷/۲۴	۳۷/۶۳
تیر	۳/۵۳	۳۵/۴۵	۷۵/۰۶
مرداد	۲/۸	۴۵/۴۵	۷۱/۹۶
شهریور	۲/۴	۳۷/۶۱	۸۸/۱۶
مهر	۴/۷۷	۳۵/۶۵	۸۰/۵۳

جدول ۲. میانگین ماهانه شاخص‌های ویروس کرونا استان قم بر حسب درصد (منبع، بخش آماری دانشگاه علوم پزشکی استان قم)

ماه	فوت‌شدگان	مبتلایان	بهبودیافتگان
اسفند	۴/۹	۳۵/۱۶	۲۵/۱۳
فروردین	۲/۱	۴۶/۱۳	۲۵/۴۳
اردیبهشت	۱/۸۶	۴۸/۱۳	۲۱/۴
خرداد	۱/۳۶	۲۶/۴۱	۱۳/۴
تیر	۲/۷	۴۶/۱۳	۲۱/۲۶
مرداد	۳/۴	۳۸/۳	۲۲/۰۳
شهریور	۳/۶۶	۶۶/۰۳	۳۸/۲۳
مهر	۱۲/۶۶	۴۵/۷۳	۴۵/۸۳

محدوده تحقیق

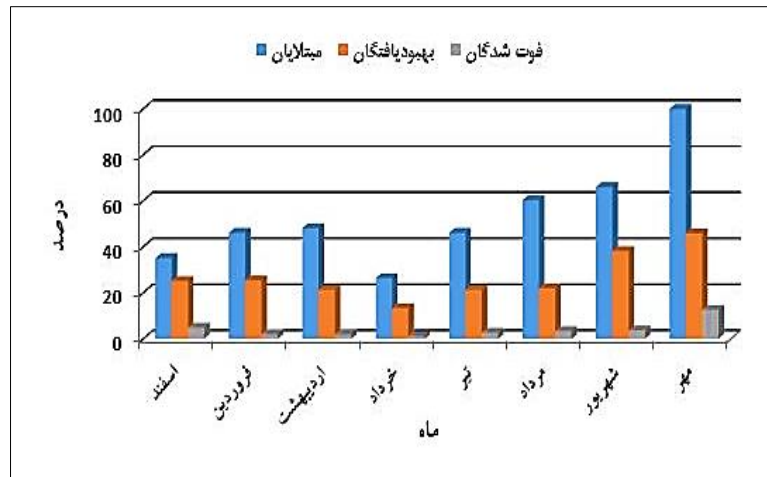
اولین منطقه تحقیق، استان قم است. این استان بین ۵۰ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد، این استان از شمال با استان تهران، از شرق با استان سمنان، از جنوب با استان اصفهان و از غرب با استان مرکزی همسایه است و با وسعت ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع در کریدور مرکزی ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۱۰۶۰۰۰۰ نفر است (شکل ۱). دومین منطقه تحقیق، استان مازندران است براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت استان مازندران بالغ بر ۳۲۸۳۵۷۷ نفر بوده است [۳]. (شکل ۱).



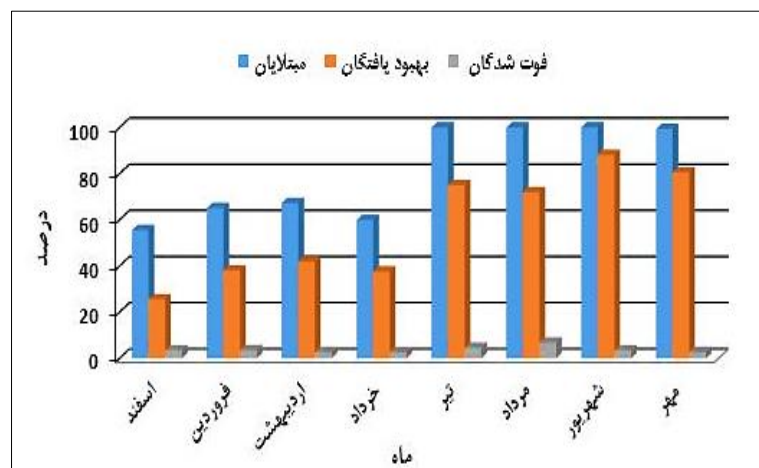
شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

بحث و یافته‌ها

تعداد مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان در استان‌های قم و مازندران از ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ سیر صعودی داشت. استان‌های قم و مازندران بعد از استان تهران دارای بیشترین تعداد مبتلا به ویروس کرونا بودند. روند بیماری برای این سه شاخص در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. مبتلایان استان قم در دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ عدد ۴۴/۲۵ درصد را نشان داد. درحالی که فوت‌شدگان این استان به ۴/۳۴ درصد رسید، بیشترین پراکندگی مکانی فوت‌شدگان ویروس کرونا در قسمت‌های شمال غربی بود و پراکندگی بهبودیافتگان در قسمت‌های مرکزی استان قم به‌طور چشمگیری دیده شد.



شکل ۲. میانگین سه شاخص در استان مازندران



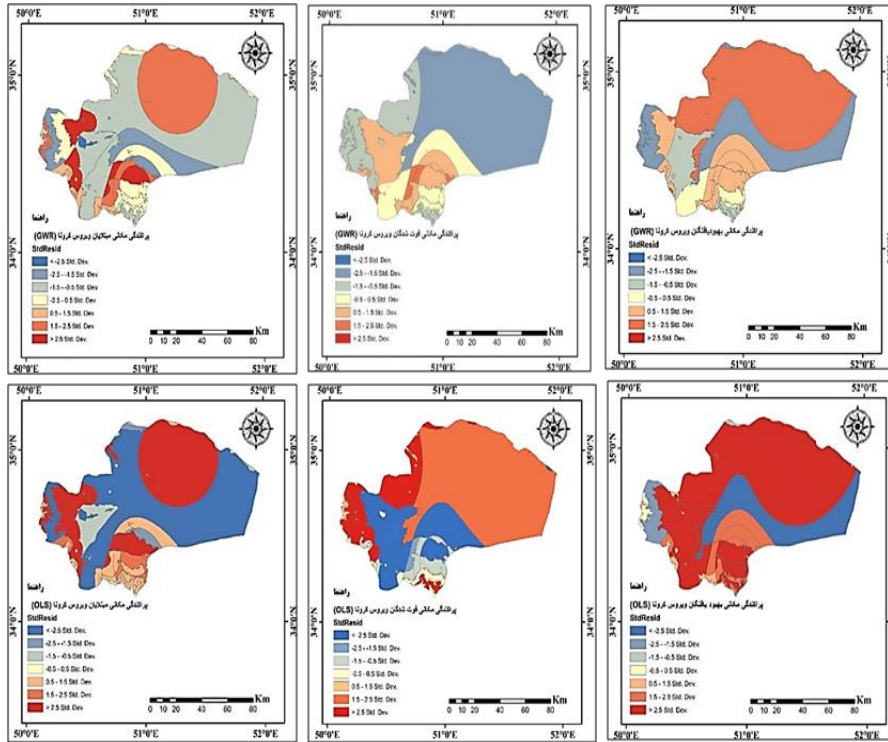
شکل ۳. میانگین سه شاخص در استان قم

گسترش پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا در استان قم

علت انتخاب استان قم به‌عنوان یکی از مناطق مورد مطالعه در پژوهش حاضر مسافرت‌های زیارتی و سیاحتی به این استان بود. همچنین این استان اولین استان درگیر ویروس کرونا در کشور بود. از تاریخ ۳ اسفند به بعد، شیوع ویروس کرونا در کشور سیر صعودی یافت و به بیش

از ۱۰۰۰ نفر مبتلا در کشور رسید. بررسی‌ها نشان داد که پراکندگی فضایی ویروس کرونا در استان‌های قم، تهران مازندران و مرکزی به نواحی اطراف خود به سرعت در حال افزایش بود. بر این اساس، میزان مبتلایان برای استان قم، ۴۴/۲۵ درصد بود و بیشتر افراد درگیر در قسمت‌های جنوبی استان شامل شهرهای نوفل‌لوشاتو، قم و سلفچگان) پراکنده بودند. اما سفرهای زیارتی و سیاحتی افراد به استان قم سبب شد که فوت‌شدگان به ۴/۰۸ درصد برسد. بیشترین پراکندگی فوت‌شدگان در قسمت‌های شمال غربی و جنوبی شهرهای جعفرآباد و خلجستان بود و تعدادی نیز در شهر نوفل‌لوشاتو دیده شد. با گذشت زمان، تعدادی از افراد درگیر ویروس بهبود یافتند و شمار بهبودیافتگان به ۶۱/۰۷ درصد رسید. بیشتر بهبودیافتگان در قسمت‌های مرکزی استان قم دیده شدند. براساس مدل حداقل مربعات، مبتلایان در این استان بیشتر در خلجستان، بخش‌هایی از جنوب شرقی نوفل‌لوشاتو و بخش‌هایی از جنوب شهر سلفچگان پراکنده بودند. اما پراکندگی فوت‌شدگان این استان برحسب مدل مذکور بیشتر در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب و قسمتی از جنوب شرقی و قسمت‌های بسیار کوچکی از شمال غربی و شمال شرقی بود. در بیشتر قسمت‌های جنوب شامل نوفل‌لوشاتو، سلفچگان و جعفرآباد و همچنین در قسمت‌های شمالی و شمال غربی تعدادی از بهبودیافتگان پراکنده بودند. علت افزایش بهبودیافتگان در این قسمت از استان قم، رعایت پروتکل‌های بهداشتی، قرنطینه‌های خانگی و تعطیلی مراکز زیارتی و تفریحی توسط سازمان بهداشت و آموزش پزشکی کشور بود. پراکندگی مکانی و زمانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) استان قم با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج حاصل از پراکندگی مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی برای ویروس کرونا استان قم در جدول ۳ ارائه شده است.

از طرفی نتایج برخی پژوهش‌ها نیز حاکی از اشتراکات نزدیک با پژوهش حاضر است. چن و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل فضایی-زمانی بیزی، توزیع ویروس کرونا و ارتباط آن با مهاجرت جمعیت ووهان را در مراحل اولیه شیوع بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که مدل فضایی-زمانی بیزی از اهمیت بسیار زیادی برای هشدار توزیع سریع و جلوگیری از شیوع این ویروس در آینده برخوردار است [۹].



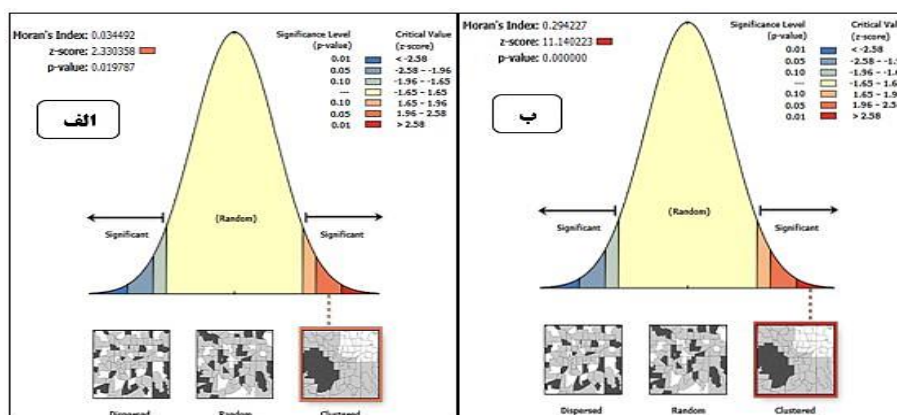
شکل ۴. نقشه‌های پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا استان قم با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات

جدول ۳. نتایج به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی برای شاخص‌های مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان استان قم

ردیف	پارامترها	میزان پارامترها
۱	باقی‌ماندهٔ مربعات	۳۰۴/۱۵۱۹۹۹
۲	سنجش کارایی نسبی	۰/۸۱۶۸۱۸
۳	حد آستانه	۱۱۳۵/۷۶۲۶۱۲
۴	ضریب تعیین	۰/۴۱۴۴۶۹
۵	ضریب تعیین تنظیم‌شده	۰/۴۰۵۳۰۹

نتایج نشان داد که از ۳ اسفند سال ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ میزان ضریب موران برابر مقدار Z Score ۲/۳۳۰۳۵۸، مقدار شاخص انتظار ۰/۰۰۱۱۳۶ - و مقدار P- ۰/۰۳۴۴۹۲

Value برابر ۰/۱۹۷۸۷ درصد است. الگوی پراکنش مکانی مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان براساس خودهمبستگی مکانی موران در سطح استان قم به صورت خوشه‌ای است. این نکته بیانگر تعداد زیاد مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان حاصل از ویروس کرونا است که براساس مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی بیشتر در قسمت‌های جنوبی، شمال غربی و مرکزی این استان پراکنده شده‌اند. درحالی که پراکندگی فضایی این ویروس با استفاده از مدل حداقل مربعات میزان ضریب موران را برابر ۰/۲۹۴۲۲۷، شاخص انتظار را برابر ۰/۰۰۸۷۱ -، مقدار Z-Score برابر ۱۱/۱۴۰۲۲۳ و مقدار P-Value را صفر درصد نشان داد. پراکنش مکانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) براساس الگوی خودهمبستگی مکانی با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات در شکل ۵ نشان داده شده است.

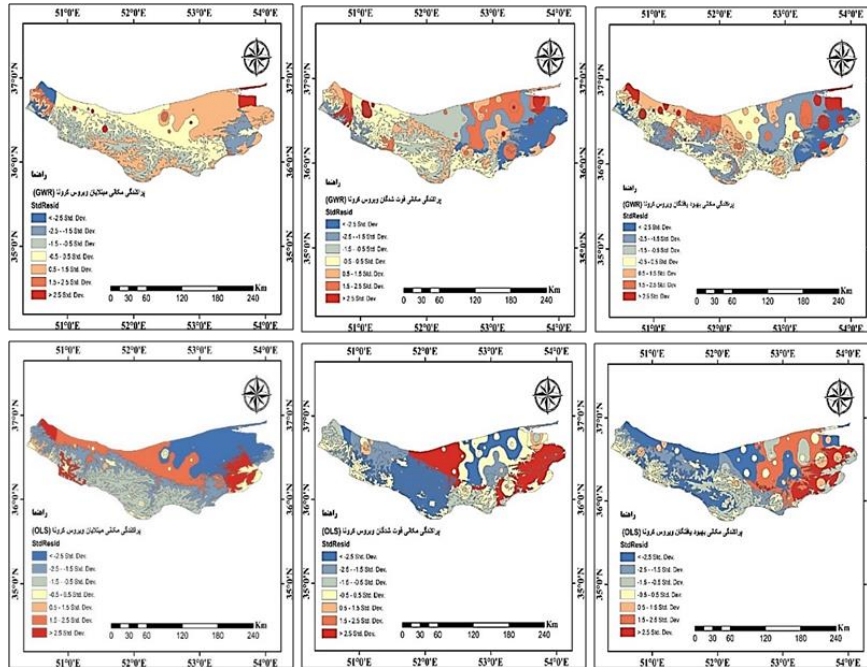


شکل ۵. پراکنش مکانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) براساس الف) مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی؛ ب) مدل حداقل مربعات.

پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا در استان مازندران

استان مازندران نیز بعد از استان قم، درگیر بحران ویروس کرونا بوده است. علت افزایش شیوع کرونا در این استان سفرهای مسافران بود. در شکل ۶، پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا در استان مازندران با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ نشان داده شده است. در ۳ اسفند ۱۳۹۸، پراکندگی مکانی ویروس کرونا از استان‌های تهران، قم، گیلان، مرکزی، مازندران و اصفهان به نواحی

پیرامون به سرعت در حال گسترش بود. تراکم انتشار فضایی ویروس کرونا بیشتر به سمت نواحی شمالی، مرکزی و شمال غربی کشور بود و کمترین شیوع ویروس کرونا در نواحی شرق و جنوب شرقی کشور دیده شد. در ۳ اسفند ۱۳۹۸، پراکندگی مبتلایان در استان مازندران بیشتر در شهرهای رامسر، نوشهر و قسمت‌های جنوبی ساری و قسمت‌هایی از شمال بابل بود و تعداد پراکندگی مبتلایان عدد ۳۵/۵۷ درصد را در طی دوره زمانی ذکر شده نشان داد. پراکندگی مبتلایان و نیز نزدیکی این شهر به تهران و سفرهای سیاحتی به این شهر سبب افزایش شمار فوت‌شدگان شد. بیشترین فوت‌شدگان در شمال غربی و قسمت‌هایی از جنوب استان مازندران شامل رامسر، تنکابن، کلاردشت، چالوس، نور و آمل بودند. تعداد فوت‌شدگان در این استان در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ به ۲/۶۱ درصد رسید. اما سیاستگذاری‌های ستاد ملی مقابله با ویروس کرونا از جمله اجرای طرح غربالگری، افزایش ظرفیت بیمارستان‌ها و اطلاع‌رسانی دقیق پراکندگی مکانی ویروس کرونا در استان مازندران سبب کاهش شیوع بیماری شد و تعداد بهبودیافتگان استان در قسمت‌های شمالی، جنوبی و شمال شرقی افزایش پیدا یافت و پراکندگی به ۵۷/۳۴ درصد رسید. درحالی که پراکندگی مکانی مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان براساس مدل حداقل مربعات در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹ بسیار متفاوت با نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی است. براساس مدل حداقل مربعات، مبتلایان بیشتر در قسمت‌های مرکزی پراکنده بودند. این پراکندگی سبب شد که قسمت مرکزی استان مازندران دارای بیشترین تعداد فوت‌شدگان باشد. درحالی که بهبودیافتگان استان مازندران براساس مدل حداقل مربعات طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹، بیشتر در قسمت‌های مرکزی و بخشی‌های کوچکی از قسمت‌های جنوبی این استان پراکنده بودند و عوامل افزایش شمار بهبودیافتگان از نظر پراکندگی مکانی در این قسمت از استان، استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده و ماسک بود. نتایج حاصل از پراکندگی مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی برای ویروس کرونا در استان مازندران در جدول ۴ ارائه شده است.



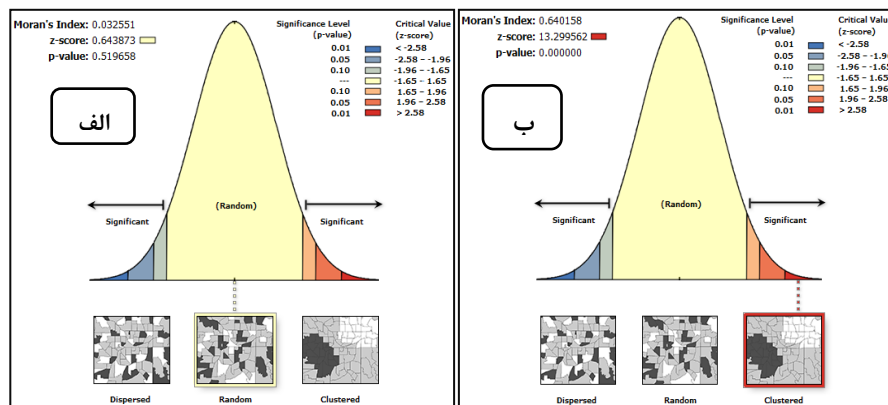
شکل ۶. نقشه‌های پراکندگی زمانی و مکانی ویروس کرونا در استان مازندران با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن دار مکانی و مدل حداقل مربعات

جدول ۴. نتایج به دست آمده از مدل رگرسیون وزن دار مکانی برای سه شاخص (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) در استان مازندران

ردیف	پارامترها	میزان پارامترها
۱	باقی‌ماندهٔ مربعات	۳۱۸/۲۵۵۵
۲	سنجش کارایی نسبی	۶۶/۹۶۷۷۱۲
۳	حد آستانه	۵۲۹/۱۵۹۳۲
۴	ضریب تعیین	۰/۷۲۴۴۶۶
۵	ضریب تعیین تنظیم‌شده	۷۱۶۹۲۲

بر اساس مدل سنجش کارایی نسبی، نتایج نشان داد که از ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر ۱۳۹۹، ضریب موران برابر ۰/۰۳۲۵۵۱، مقدار شاخص انتظار برابر ۰/۰۰۱۶۵۳-، مقدار Z-Score برابر ۰/۶۴۳۸۷۳ و مقدار P-Value برابر ۰/۵۱۹۶۵۸ درصد به دست آمد. بر این اساس

الگوی پراکنش مکانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) در استان مازندران با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی به صورت تصادفی و بیشتر در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی است. در حالی که خودهمبستگی مکانی با استفاده از مدل حداقل مربعات، میزان ضریب موران را برابر $0/640158$ ، مقدار شاخص انتظار را $0/001770$ ، مقدار Z-Score را $13/299562$ و مقدار P-Value را صفر درصد نشان داد. بر این اساس الگوی پراکنش مکانی براساس مدل ذکر شده، به صورت خوشه‌ای توزیع شده و این توزیع‌یافتگی بیشتر در قسمت‌های مرکزی و جنوبی این استان دیده می‌شود. پراکنش مکانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان) و ویروس کرونا براساس الگوی خودهمبستگی مکانی با استفاده از رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. پراکنش مکانی (مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان)، براساس الف) مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی؛ ب) مدل حداقل مربعات.

نتیجه‌گیری

شیوع ویروس کرونا به تهدیدی بالینی برای جوامع در سراسر جهان تبدیل شده است. امروزه بررسی توزیع و پراکندگی بیماری‌های واگیر در جهان اهمیت فراوانی در کشف علل و شرایط مسبب گسترش بیماری در هر منطقه دارد. سازمان بهداشت جهانی موضوع استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی را در نقشه‌سازی بیماری‌ها از سال ۱۹۹۳ آغاز کرده است. پژوهش حاضر به مدل‌سازی پراکندگی زمانی و مکانی گسترش ویروس کرونا با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و مقایسه آن با حداقل مربعات در طی دوره زمانی ۳ اسفند ۱۳۹۸ تا اواخر مهر

۱۳۹۹ در استان‌های قم و مازندران و تحلیل این پراکندگی‌ها با استفاده از خودهمبستگی مکانی موران پرداخته است. علت انتخاب استان‌های مازندران و قم برای پژوهش حاضر، مسافرت‌های زیارتی و سیاحتی است. بنابراین نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی استان قم نشان داد که مجموع باقی‌ماندهٔ مربعات و ضریب تعیین به‌ترتیب $۳۰۴/۱۵۱۹۹۹$ و $۰/۴۱۴۴۶۹$ درصد است. درحالی که مدل حداقل مربعات پراکندگی مکانی متفاوتی را نشان داد. براساس مدل ذکرشده، مبتلایان این استان بیشتر در شهرهای خلجستان، بخش‌هایی از جنوب شرقی نوفل‌لوشاتو و بخش‌هایی از جنوب سلفچگان پراکنده بودند. اما فوت‌شدگان این استان برحسب مدل مذکور بیشتر در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب و قسمتی از جنوب شرقی و قسمت‌های بسیار کوچکی از شمال غربی و شمال شرقی پراکنده بودند. در قسمت‌های شمالی و شمال غربی و شرقی، تعداد بهبودیافتگان بیشتر بود که علت آن، رعایت پروتکل‌های بهداشتی، قرنطینهٔ خانگی و تعطیلی مراکز زیارتی و تفریحی بود. اما خودهمبستگی پراکندگی مکانی و زمانی ویروس کرونا براساس سه شاخص مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان، میزان ضریب موران را برابر $۰/۰۳۴۴۹۲$ و مقدار P-Value را $۰/۰۱۹۷۸۷$ درصد نشان داد، درحالی که این خودهمبستگی برحسب مدل حداقل مربعات برای استان قم، ضریب موران را برابر $۰/۲۹۴۲۲۷$ و میزان P-Value را صفر درصد نشان داد. الگوی پراکنش هر دو مدل مذکور برای استان قم به‌صورت خوشه‌ای توزیع شده است. درحالی که پراکندگی مکانی و زمانی ویروس کرونا برای استان مازندران نتایج متفاوتی نسبت به استان قم نشان داد. در ۳ اسفند ۱۳۹۸ پراکندگی مکانی مبتلایان به ویروس کرونا در استان مازندران بیشتر در شهرهای رامسر، نوشهر و قسمت‌های جنوبی شهر ساری و قسمت‌های از شمال بابل بود و تعداد پراکندگی این مبتلایان عدد $۳۵/۵۷$ درصد را نشان داد. پراکندگی مبتلایان و نزدیکی این استان به شهر تهران و سفرهای سیاحتی به این شهر سبب شد که تعداد فوت‌شدگان این مناطق زیاد شود. بیشترین پراکندگی مکانی فوت‌شدگان در قسمت‌های شمال غربی و قسمت‌هایی از جنوب شامل رامسر، تنکابن، کلاردشت، چالوس، نور و آمل دیده شد. فوت‌شدگان در این استان در طی دورهٔ زمانی ذکرشده به $۲/۶۱$ درصد رسید. سیاستگذاری‌های ستاد ملی مقابله با ویروس کرونا سبب کاهش شیوع بیماری و افزایش بهبودیافتگان در قسمت‌های شمالی، جنوبی و شمال شرقی استان به $۵۷/۳۴$ درصد شد؛ براساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی، مجموع باقی‌ماندهٔ مربعات و ضریب تعیین به‌ترتیب $۳۱۸/۲۵۵۵$ و $۰/۷۲۴۴۶۶$ درصد بود. درحالی که پراکندگی مکانی مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان با استفاده از مدل حداقل مربعات طی دورهٔ زمانی یادشده بسیار متفاوت با نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی

بود. براساس مدل حداقل مربعات مبتلایان در قسمت‌های مرکزی پراکنده شده‌اند. این پراکندگی سبب شد که قسمت‌های مرکزی دارای بیشترین تعداد فوت‌شدگان باشد. درحالی که بهبودیافتگان استان مازندران براساس حداقل مربعات بیشتر در قسمت‌های مرکزی و بخشی‌های کوچکی از قسمت‌های جنوبی این استان پراکنده بودند و دلیل آن هم، استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده و ماسک بود. اما خودهمبستگی پراکندگی مکانی و زمانی ویروس کرونا براساس سه شاخص مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان، برحسب مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی میزان ضریب موران را $0/032551$ و مقدار $P - Value$ را $0/519658$ نشان داد. این خودهمبستگی مکانی برحسب مدل حداقل مربعات برای استان مازندران ضریب موران را برابر $0/640158$ و میزان $P - Value$ را صفر درصد نشان داد. الگوی پراکنش مکانی هر دو مدل رگرسیون وزن‌دار مکانی و مدل حداقل مربعات به‌صورت تصادفی توزیع شده است. پراکندگی ویروس خطرناک کرونا و مدل‌سازی این ویروس با استفاده از سه شاخص مبتلایان، فوت‌شدگان و بهبودیافتگان براساس مدل‌های رگرسیون وزن‌دار مکانی و حداقل مربعات و تحلیل این مدل‌ها براساس الگوی خودهمبستگی مکانی موران به‌عنوان نوآوری پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است، در ضمن با استفاده از این مدل‌ها می‌توان پراکندگی این ویروس را در مناطق مختلف مشخص کرد. براساس همین پراکندگی می‌توان با استفاده از طرح‌های ستاد ملی مقابله با ویروس کرونا، زنجیره انتقال ویروس را در مناطق مختلف سراسر کشور قطع کرد. نتایج برخی پژوهش‌ها نیز حاکی از همسویی با پژوهش حاضر است

پیشنهادهای پژوهش حاضر، به‌منظور کاهش شیوع ویروس کرونا در مناطق تحت مطالعه عبارت‌اند از:

- استفاده از مدل ریاضی شیوع ویروس کرونا در ایران و استفاده از رگرسیون در پیش‌بینی مکان مبتلایان به ویروس کرونا؛
- استفاده از تحلیل‌های مکانی لکه‌داغ در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی کانون‌های ویروس کرونا؛
- تحلیل مکانی ویروس کرونا با استفاده از رویکرد تحلیل اکتشافی؛
- استفاده از اپلیکیشن‌ها به‌منظور شناسایی مکان‌ها و مسیرهای آلوده به ویروس کرونا.

منابع

- [۱]. پورقاسمی، حمیدرضا؛ پویان، سهیل؛ فرج‌زاده، زکریا؛ حیدری، بهرام؛ و بابایی، صدیقه (۱۴۰۰). «ارزیابی خطر شیوع و رفتار ویروس کووید ۱۹ با استفاده از میانگین متحرک و مدل‌های چندجمله‌ای (مطالعه موردی: استان فارس)»، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۲، شماره ۱، ص ۷۰-۵۴.
- [۲]. رهنما، محمدرحیم؛ و بازرگان، مهدی (۱۳۹۹). «تحلیل الگوهای مکانی - زمانی اپیدمی ویروس کووید ۱۹ و مخاطرات آن در ایران»، مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۱۲۷-۱۱۳.
- [۳]. سالنامه آماری استان مازندران (۱۳۹۵). مرکز آمار ایران.
- [4]. Abolfazl, M.; Behzad, V.; & Kiara M. R. (2020). "GIS-based spatial modeling of COVID-19 incidence rate in the continental United States", <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138884>.
- [5]. American Health Organization. Use of GIS in epidemiology. *Epidemiological Bulletin*. (2015). 17:1-7.
- [6]. Bailley, T.; & Gatrell, A. (2015). *Interactive spatial data analysis*. 1st ed. Harlow. Longman.
- [7]. Blackwood, JC.; Childs LM. (2018). "an introduction to compartmental modeling for the budding infectious disease modeler", *Lett Biomath* 20(5), pp: 195-221.
- [8]. Chen, S.; Yang, J.; Yang, W.; Wang, C.; & Bärnighausen, T. (2020). "COVID-19 control in China during mass population movements at New Year", *The Lancet* 39(5), pp: 764-766.
- [9]. Chen, N.; Zhou, M.; Dong, X.; Qu, J.; Gong, F.; & Han, Y. (2020). "Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel corona virus pneumonia in Wuhan, China", *a descriptive study Lancet*. 39(7), pp: 507-513. Doi: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7.
- [10]. Fotheringham. A.S, Brunson, C.; & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*.
- [11]. Ghaedamini, A. R.; Tofighi, S.; Ghaedamini, H.; Azizian, F.; Amerieon, A.; & Shokri, M. (2012). "A review of some infectious diseases distribution based on geographic information system (GIS) in the area of Chahar Mahal and Bakhtiari", *Journal of Police Medicine*, 1(2), pp: 113-123.
- [12]. Gatto, M.; Bertuzzo, E.; Mari, L.; Miccoli, S.; Carraro, L.; Casagrandi, R.; Rinaldo, A. (2020). "Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy", *E cts of emergency containment measures. Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1(17), pp: 10484-10491.

- [13]. Ibrahim, A. (2020). "GIS Application for modeling Covid -19 risk in the makkah region Saudi risk Arabia based on population and density", <https://doi.Org/10.21608/ejec.2020.115873>.
- [14]. Jia, J.; Ding, J.; Liu, S.; Liao, G.; Li, J.; & Duan, B. (2021). "Modeling the Control of COVID-19", *Impact of Policy Interventions and Meteorological Factors*, Vol. 151, No. 7, pp: 231-321.
- [15]. Kistemann, T.; Dangendorf, F.; & Schweikart, J. (2015). "New perspectives on the use of Geographical Information Systems in environmental health sciences", *Int J Hyg Environ Health* 20(5), pp: 169 - 181. <https://doi.Org/10.1078/1438-4639-00145>.
- [16]. Kandwal, R.; Garg, PK.; & Garg, RD. (2009). "Health GIS and HIV/ AIDS studies: Perspective and retrospective", *Journal Biomed Inform*, (4)2, pp: 748-755. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2009.04.008>.
- [17]. Lu, R.; Zhao, X.; Li, J.; Niu, P.; Yang, B.; & Wu, H. (2020). "Genomic characterization and epidemiology of 2019 novel corona virus: implications for virus origins and receptor binding", *Lancet*. (39)5, pp: 565-574. [https://doi.Org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.Org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8)
- [18]. Leung, M.K.; Xiong, H.Y.; Lee, L.J.; & Frey, B.J. (2020). "Deep learning of the tissue-regulated splicing code. *Bioinformatics*, 30, 121–129.
- [19]. Lee, S.I. (2000). "Developing a bivariate spatial association measure: An integration of Pearson's r and Moran's I", *Journal of geographical systems*, (3)4, pp: 369-385.
- [20]. Mollalo, A.; Vahedi, B.; & Rivera, K. (2020). "GIS-based spatial modeling of COVID-19 incidence rate in the continental United States", *Science of the Total Environment*, (7)28, pp: 1-8. <https://doi.Org/10.1016/j.scitotenv.138884>.
- [21]. Propastin, P.; & Kappas, M. (2008). "Reducing uncertainty in modeling the NDVI–precipitation relationship: a comparative study using global and local regression techniques", *GISci Remote Sens*, (4)5:47–67.
- [22]. Wang, Z.; & Xu, X. (2020). "ScRNA-seq profiling of human testes reveals the presence of the ACE2 receptor, a target for SARS-CoV-2 infection in spermatogonia", *Leydig and Sertoli Cells* 9(4):920.
- [23]. World Health Organization. (2020). Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Retrieved from. <https://www.who.int/docs/defaultsource/coronaviruse/who-china-joint-mission-oncovid-19-final-report.pdf>.
- [24]. World Health Organization. 10 facts on neglected tropical diseases. (2011). Available from: URL: http://www.who.int/features/factfiles/neglected_tropical_diseases/en.
- [25]. Wu, F.; Chen, YM; Wang, W.; & Song, ZG.; Hu, Y. (2020). "A new corona virus associated with human respiratory disease in China", *Nature*. <https://doi.Org/10.1038/s41586-020-2202-3>.
- [26]. Zhou, P.; Yang, XL.; Wang, XG.; Hu, B.; Zhang, L.; & Zhang, W. (2020). "A pneumonia outbreak associated with a new corona virus of probable bat origin", *Nature*, (5)21, pp: 270-273.