

مدلسازی فضایی انتشار ویروس کرونا بر اثر تحرک و جابجایی افراد

(مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

مقاله علمی - پژوهشی

شهریار افندی زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مجتبی سعادت، استاد، دانشکده تحقیقات راهبردی، دانشگاه دفاع عالی ملی، تهران، ایران

سعید عبدالهی لاشکی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

احمدرضا الماسی، دانشجوی دکتری، گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

صفحه ۶۴-۴۵

چکیده

تأثیر جابه‌جایی بر انتشار ویروس‌ها مسئله‌ای بسیار مهم است که توسط جوامع مختلف به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار در انتشار بیماری مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از مدل‌های آمار فضایی یکی از تازه‌ترین مدلسازی‌های چگونگی انتشار ویروس در سطح نواحی یک شهر یا کشور براساس داده‌های مکان مبنای می‌باشد که از مهمترین ویژگی این مدل‌ها بومی سازی براساس ارتباط بین داده‌های مکانی افراد مبتلا به ویروس و متغیرهای توضیحی محلی تأثیرگذار بر انتشار ویروس است. در این مطالعه در گام اول از بین ۱۲ متغیر توضیحی در دسترس با استفاده از روش رگرسیون اکتشافی ۱۷۹۵ مدل فضایی ساخته شد تا براساس آن وابستگی مکانی، هم‌خطی متغیرهای توضیحی در نظر گرفته شود و در نهایت ۵ متغیر که کمترین همبستگی خطی و مکانی و همچنین بیشترین اثرگذاری در انتشار بیماری داشتند جهت ادامه مدلسازی انتخاب گردید. در گام دوم به منظور مدلسازی اثر متغیرهای شناسایی شده بر انتشار ویروس کرونا از ۳ مدل آماری مکان مبنای رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و رگرسیون پوآسن وزن‌دار جغرافیایی استفاده گردید. نتایج مطالعه نشان داد میزان جابه‌جایی، جمعیت افراد سالخورده در هر ناحیه ترافیکی و سپس تعداد خودرو هر خانوار بیشترین تأثیر در انتشار ویروس کرونا دارد همچنین با ایجاد محدودیت شدید جابه‌جایی در نواحی ترافیکی آلوده به منظور قطع زنجیره انتقال به سایر نواحی و همچنین کاهش میزان جابه‌جایی در سایر نواحی مانند آموزش مجازی مدارس و دانشگاه‌ها و دورکاری در ادارات می‌تواند در بازه ۶ ماهه تأثیر چشمگیری بر کنترل انتشار ویروس کرونا داشته باشد. در انتهای مطالعه ۳ سناریو پیشنهادی جهت جلوگیری از انتشار ویروس در شرایط بحرانی برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران و همچنین ۶۰۳ ناحیه ترافیکی ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: آمار فضایی، حمل و نقل، ویروس کرونا، نواحی ترافیکی

۱-مقدمه

et al., 2020, WHO (2020), Kucharski et al., (2020) مشکلات شیوع بیماری کرونا علاوه بر مرگ و میر و هزینه اجتماعی ناشی از تلفات انسانی، محدودیت فعالیت‌های اقتصادی که از مهمترین مولدهای بقا و پیشرفت بشر است را به دنبال داشته است. از مهمترین اقدامات کشور چین و پیرو

شیوع بیماری کرونا در اواخر سال ۲۰۱۹ در کشور چین باعث ایجاد مشکلات فراوانی در کشور چین گردید (Carteni, 2020). پس از چند ماه موج شیوع بیماری، ویروس کرونا کل دنیا را در نوردید به گونه‌ای که بیشترین تغییر و تحولات در زندگی بشر در یک صد سال را به خود اختصاص داد (Liu

(Wei et al, 2020) همچنین در صورت تصمیم‌گیری به موقع و آنی براساس داده‌های مکانی تا ۳۷,۵ درصد از آمار تعداد مبتلایان کاهش خواهد یافت (Jiang et al, 2021). بنابراین شناسایی عوامل تأثیرگذار و تشدیدکننده انتشار ویروس کرونا بر اثر جابه‌جایی در جامعه، گام مهمی جهت برنامه‌ریزی‌های آینده خواهد بود. بنابراین شناسایی عوامل تأثیرگذار در انتشار ویروس کرونا به وسیله جابه‌جایی، لازم است تمهیدات متفاوتی برای مناطق با سطح آلودگی مختلف در نظر گرفته شود زیرا وجود یک تصمیم سراسری مانند قرنطینه عمومی تأثیر بسیار منفی در اقتصاد هر کشور خواهد گذاشت. دسترسی به اطلاعات مکانی داده‌ها و عوامل شناسایی شده کمک می‌کند که با توجه به چگونگی انتشار ویروس سناریوهای مختلفی برای هر یک از مناطق مختلف در نظر گرفت. در مطالعات گذشته ویژگی وابسته به مکان بودن و دوری یا نزدیک بودن مکان‌های آلوده از یکدیگر معیار مهمی عنوان شده است که در میزان و شیوه انتشار ویروس تأثیرگذار است (Liu et al, 2021). مدل‌های آمار فضایی به خوبی قابلیت شناسایی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی عوامل انتشار بیماری کرونا را دارند. در روش آمار فضایی می‌توان مدلی جامع شهری ایجاد کرد تا شرایط عامل بحران بر اساس پارامترهای تأثیرگذار مکانی و جغرافیایی برای قسمتی از یک جامعه مانند یک منطقه شهری مورد بررسی قرار دهد و در نهایت بهترین راه‌حل‌هایی در جهت کاهش اثرات عامل بحران که در این مطالعه ویروس کرونا است ارائه گردد (رحیمی ریس و همکاران، ۱۳۹۹، پویان و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعات گذشته چگونگی اقدامات کنترل شیوع ویروس کرونا با در نظر گرفتن راهکارهای عملیاتی عدم قرنطینه سراسری مورد بررسی قرار نگرفته است بنابراین یکی از مهمترین چالش‌های این مطالعه ارائه الگوی مناسب فعالیت‌های حمل و نقلی با بیشترین ظرفیت ممکن و کمترین تأثیر در انتشار ویروس کرونا می‌باشد. علاوه بر موارد گفته شده معادلات مبتنی بر موقعیت جغرافیایی و انواع کاربری‌های جاذب سفر در نواحی ترافیکی مختلف همچنین چگونگی تعاملات بین نواحی ترافیکی هم‌جوار در یک شهر در نظر گرفته نشده است در این مطالعه با استفاده از اطلاعات افراد مبتلا شده به کرونا در مناطق مختلف شهر تهران و همچنین نوع شیوه حمل‌ونقلی جابه‌جایی درون شهری با استفاده از دو

آن سایر کشورها در کنترل شیوع بیماری، قرنطینه سراسری و کنترل کامل آمد و شد مردم بود که نتیجه آن کاهش شدید در تقاضای استفاده کنندگان از سیستم حمل و نقلی بوده است (Jiang et al. 2020, IATA, 2020; ICAOa, 2020). بحران کرونا تقاضا در بخش حمل‌ونقل را با چالش‌هایی مواجه نمود که در نتیجه آن، علاوه بر مسائل مشکلات ایجاد شده بخش‌های مختلف حمل‌ونقل، اقتصاد جوامع که متاثر از جا به جایی است را نیز تحت تأثیر قرار داد (Aysegul, 2012). در ایران، اولین موارد بیماری در ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۸ گزارش شد و روند صعودی موارد ابتلا در اقصی نقاط کشور آغاز شد به طوری که در مدت زمانی کوتاه، همه استان‌های کشور درگیر این بیماری شدند. پس از شیوع بیماری کرونا در ایران، میزان جا به جایی براساس تمهیدات دولت ایران به گونه چشمگیری کاهش یافت. براساس مطالعات انجام گرفته میزان جابه‌جایی در بازه زمانی اسفند تا فروردین ماه (ماه‌های نخست انتشار ویروس کرونا) نسبت به بازه زمانی مشابه در سال قبلی کاهش چشمگیری داشته است (مطالعات زیربنایی مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۹). مطالعات نشان داده است حمل و نقل در تمامی زمینه‌های تولید، توزیع و مصرف کالا و خدمات و همچنین مجموعه فعالیت‌های اقتصادی نقش غیر قابل انکاری بر عهده دارد. به گونه‌ای که بخش‌های مختلف جوامع را به سمت توسعه پایدار متصل می‌کند (Amirian, 2004). به منظور کاهش تأثیر انتشار ویروس کرونا در استفاده از سیستم‌های حمل و نقلی مطالعات مختلفی انجام گرفته است که نشان می‌دهد نسبت افراد مبتلا شده در سیستم حمل و نقل عمومی با تهویه مناسب نسبت به سایر مکان‌های شلوغ کمتر است (Zhang, 2020) همچنین افزایش مراکز تست کرونا در مناطق مختلف براساس سطح درآمد و تخصیص سیستم حمل و نقل عمومی با ظرفیت بیشتر می‌تواند اثر بخشی قرنطینه سراسری با توجه به ناهمگونی انتشار ویروس کرونا بر اثر جابه‌جایی را بیشتر کند (Bennett, 2020) علاوه بر آن ایجاد قرنطینه ۲۱ روزه با توجه به دوره بیماری ۱۴ روزه در سویه اول کرونا در کوتاه مدت توانسته است نتایج مثبتی در کاهش انتشار ویروس داشته باشد همچنین در صورت عدم قرنطینه عمومی تعداد مبتلایان نسبت به حالت قرنطینه ۴,۲۵ برابر در هفته خواهد شد

روش آمار فضایی رگرسیون وزن جغرافیایی و مدل رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف از نظر جغرافیایی و فضایی بر انتشار ویروس کرونا پرداخته خواهد شد و ضمن ارائه راهکارهایی، تأثیر مدیریت سیستم حمل و نقلی به منظور کاهش ضررهای ناشی از آن به اقتصاد کشور ایران مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- پیشینه تحقیق

ژانگ و همکاران، در مطالعه خود با استفاده از داده‌های مکان دستگاه تلفن همراه بیش از ۱۰۰ میلیون نمونه فعال ماهانه، براساس داده‌های مکانی تقاضای سفر مبدأ-مقصد، تحرک کلی را در هر شهرستان ایالات متحده از ۱ مارس تا ۹ ژوئن ۲۰۲۰ را محاسبه کردند (Xiong, 2020). علاوه بر این، در مطالعه‌ای دیگر به منظور بررسی وابستگی فضایی بین متغیرهای توضیحی مدل از روش رگرسیون وزن جغرافیایی استفاده گردید و نتایج نشان داد، مدل مکانی رگرسیون وزن جغرافیایی با کمترین AICc در مقایسه با سایر مدل‌های جهانی می‌تواند بالاترین تغییرات ($R^2: 68\%$) در فضا را مدلسازی کند (Mollalo et al. 2020). (Dutta et al, 2021).

در مطالعه‌ای دیگر از سه مدل رگرسیون جهانی (حداقل مربعات معمولی (OLS)، مدل تأخیر فضایی و مدل خطای مکانی) و یک مدل محلی (رگرسیون وزن جغرافیایی) به منظور چگونگی انتشار ویروس کرونا استفاده گردید. نتایج نشان داد درصد جمعیت شهری، تعداد سفر ماهانه، تعداد کارمندان بهداشت و فاصله از پایتخت، به‌عنوان عوامل خطر تأثیر قابل توجهی که بر میزان بروز کوید-۱۹ در بنگلادش تأثیرگذار است همچنین در میان چهار مدل بهبود یافته، مدل رگرسیون وزن جغرافیایی بهترین عملکرد را در توضیح تغییر نرخ بروز کوید-۱۹ در بنگلادش، با ارزش $R^2 78.6\%$ داشته است (Rahman et al. 2020). سانگرا و همکاران در مطالعه خود، ارتباط مکانی جهانی و محلی بین متغیرهای کلیدی اجتماعی-جمعیتی و موارد مبتلا به کوید-۱۹ و مرگ و میر در کل اروپا با استفاده از مدل‌های رگرسیون مکانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند مقادیر R^2 محلی که حاکی از تأثیر متغیرهای اجتماعی-جمعیتی انتخاب شده در موارد ابتلا و مرگ است، به ترتیب در آلمان، اتریش، اسلونی، سوئیس، ایتالیا بیشترین مقدار به دست آمد (Sannigrahi et al, 2020). منصور و همکاران در مطالعه خود بنابراین به بررسی

اینکه آیا روابط بین میزان بروز و این متغیرهای غیرثابت از نظر مکانی در عمان متفاوت است یا خیر پرداختند. آن‌ها در مطالعه‌شان از حداقل مربعات عادی جهانی، تأخیر فضایی و مدل‌های رگرسیون خطای مکانی (SEM, SLM) و همچنین دو مدل رگرسیون محلی متمایز (رگرسیون وزنه جغرافیایی و رگرسیون وزنی جغرافیایی چند مقیاس، برای کاوش روابط غیر ثابت فضایی استفاده نمودند (Shariati et al, 2020), Mansour et al, 2021). در مطالعه‌ای دیگر از حالت تجمعی کوید-۱۹ به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مشترک به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده گردید. با توجه به سلسله مراتب شیوع ویروس، اختلاف مکانی - زمانی در مدل تجزیه و تحلیل رگرسیون وزن جغرافیایی در چهار گروه مورد بررسی قرار گرفت یافته‌ها نشان داد که مدل‌های رگرسیون وزن جغرافیایی نسبت به مدل‌های OLS از تناسب بالاتری برخوردار هستند و اطلاعات مبتنی بر داده‌های در دسترس بیشتری دارند (Wu et al, 2020). هورس و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی تفاوت روابط بین نابرابری‌های ساختاری و موارد تأیید شده کوید-۱۹ در سراسر آریزونا با استفاده از یک رگرسیون وزن جغرافیایی، پرداختند نتایج نشان داد شاخص‌های نابرابری ساختاری و حضور بومیان آمریکا به‌طور قابل توجهی با موارد بالاتر تأیید شده کوید-۱۹ مرتبط هستند؛ و روابط بین نابرابری‌های ساختاری و موارد تأیید شده کوید-۱۹ در مناطقی با تراکم زیاد بومیان آمریکا، به ویژه در سرزمین‌های قبیله‌ای، به‌طور قابل توجهی قوی‌تر است (Horse et al, 2021). نتایج مطالعات نشان می‌دهد وجود ناهمگنی فضایی بین داده‌های تعداد افراد مبتلا شده به ویروس کرونا در اغلب مناطق جهان در نتایج مدلسازی تأثیرگذار بوده است (Pei et al, 2021 و Maiti et al, 2021) (Midhya et al, 2021). علاوه بر اثر مکانی داده‌های تعداد مبتلایان به ویروس کرونا در نظر گرفتن اثر زمانی نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است که نشان داده است ویژگی‌های تغییرات زمانی، به دلیل دوره پنهان ویروس و اجرای اقدامات قرنطینه تأثیر زیادی در چگونگی انتشار ویروس کرونا دارد (Chen et al, 2021).

۳- محدودده مورد مطالعه و روش تحقیق

۳-۱- محدودده و داده‌های تحقیق

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۲,۹۸۱ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶,۵ درجه عرض شمالی و

مناسب‌سازی شده‌اند، دسته سوم داده‌ها از معاونت شهرسازی و مرکز آمار ایران براساس آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵ برای شهر تهران گردآوری شده است که شرح آن در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین جهت مدل‌سازی در این مطالعه از نرم‌افزارهای GIS، R، GWR4، SPSS استفاده گردیده است.

۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. استان تهران با بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت، ۵٫۱۷ درصد از جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. داده‌های این مطالعه از ۳ منبع جمع‌آوری و دریافت گردیده است. دسته اول داده‌ها مربوط به تعداد مبتلایان به ویروس کرونا از دانشگاه علوم پزشکی تهران، دسته دوم اطلاعات مربوط به حمل‌ونقل و ترافیک شهری از معاونت حمل‌ونقل ترافیک تهران جمع‌آوری و براساس ضرایب تعدیل بحران کرونا

جدول ۱. متغیرهای توضیحی مطالعه

ردیف	نام متغیر	علامت اختصاری	منبع	توضیحات
۱	داده‌های تعداد مبتلایان به ویروس کرونا	CV	دانشگاه علوم پزشکی تهران بر اساس	تعداد افراد بستری شده از اول اسفند ۱۳۹۸ تا فروردین ۱۴۰۰
۲	ایستگاه اتوبوس	BS	معاونت حمل‌ونقل شهرداری تهران	موقعیت ایستگاه‌های اتوبوس در وضع موجود و طرح تفصیلی شهر تهران
۳	مدارس	SC	معاونت شهرسازی شهرداری تهران	موقعیت مدارس تمامی نواحی شهر تهران اعم از مدارس وضع موجود و طرح تفصیلی
۴	تعداد سفرهای تولید و جذب شده	AA, PP	معاونت حمل‌ونقل شهرداری تهران	اطلاعات مربوط به مدل‌های تولید و جذب سفر نواحی TAZ
۵	تقاطع‌ات	TS	معاونت حمل‌ونقل شهرداری تهران	موقعیت تمام تقاطعات کنترل شده و کنترل نشده همسطح شهری
۶	کل جمعیت ناحیه	TP0	مرکز آمار ایران	بر اساس آخرین سرشماری کشور ایران
۷	جمعیت کودکان ناحیه	TP1	مرکز آمار ایران	بر اساس آخرین سرشماری کشور ایران ۱۳۹۵
۸	جمعیت افراد مسن	TP2	مرکز آمار ایران	بر اساس آخرین سرشماری کشور ایران
۹	تعداد مالکیت موتورسیکلت	TM	مرکز آمار ایران	بر اساس اطلاعات ثبت شده در سرشماری و پلاک‌های ثبت شده در پایگاه پلیس
۱۰	تعداد مالکیت خودرو	TC	مرکز آمار ایران	بر اساس اطلاعات ثبت شده در سرشماری و پلاک‌های ثبت شده در پایگاه پلیس
۱۱	نوع کابری مسکونی	RE	معاونت شهرسازی شهرداری تهران	برداشت اطلاعات توسط کارشناسان شهرداری تهران
۱۲	نوع کابری تجاری	BU	معاونت شهرسازی شهرداری تهران	برداشت اطلاعات توسط کارشناسان شهرداری تهران
۱۳	نوع کابری تفریحی	RCE	معاونت شهرسازی شهرداری تهران	برداشت اطلاعات توسط کارشناسان شهرداری تهران
۱۴	تراکم جمعیت	De	معاونت شهرسازی شهرداری تهران	بر اساس تعداد نفر در یک کیلومتر مربع

۲-۳- روش تحقیق

مدل‌های آمار فضایی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی افراد مبتلا شده و پارامترهای تأثیرگذار در نرخ انتشار بیماری است. در همه مناطق یک کشور یا یک شهر ثابت نبوده و راهکارها

مدل‌های آمار فضایی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی افراد مبتلا شده و پارامترهای تأثیرگذار در نرخ انتشار بیماری است.

مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی

رگرسیون موزون جغرافیایی یکی از انواع رگرسیون‌های فضایی است که استفاده از آن در علوم جغرافیایی و سایر رشته‌هایی که از داده‌های فضایی و مانند آن‌ها استفاده می‌کنند رو به افزایش است. در رگرسیون‌های آمار کلاسیک، نظیر رگرسیون حداقل مربعات معمولی فرض ما بر آن است که رابطه‌ای که می‌خواهیم بین یک متغیر وابسته و تعدادی متغیر مستقل مدل‌سازی کنیم در سراسر محدوده مورد مطالعه یکسان است که در بسیاری از موارد چنین فرضی صحیح نیست.

رگرسیون موزون جغرافیایی یک مدل محلی از متغیری که ما درصدد فهم و یا پیش‌بینی بهتر آن هستیم از طریق اجرای رگرسیون محلی برای یکایک عوارض تهیه می‌نماید. رگرسیون موزون جغرافیایی این کار را از طریق تهیه معادلات رگرسیون جداگانه برای هر عارضه با ملاحظه متغیرهای وابسته و مستقلی که در طول باند یا محدوده عارضه قرار می‌گیرند انجام می‌دهد. در مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی بر خلاف مدل کمترین مربعات معمولی ضرایب یا پارامترهای مدل در سطح منطقه مورد مطالعه، ثابت نیستند و به مختصات مکانی (وزن مکانی و جغرافیایی) وابسته‌اند و مقدار و علامت هر یک از آن‌ها دارای تغییرپذیری مکانی است.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

در این رابطه پارامترهای مدل نشان داده شده توسط تابع $\beta_k(u_i, v_i)$ با توجه به مقادیر (u_i, v_i) متفاوت هستند که نشانگر مختصات و طول و عرض جغرافیایی برای مشاهده (منطقه) i است و در نتیجه یک مدل متفاوت با توجه به موقعیت مکانی و فضایی برای هر منطقه در مطالعه وجود دارد. همچنین فرضیه‌های مدل رگرسیون خطی کلاسیک برای رگرسیون وزن دار جغرافیایی در جای خود باقی است.

مدل رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی

در یک مدل رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی، تعداد افراد مبتلا شده به ویروس کرونا توسط مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی پیش‌بینی می‌شود که پارامترها مجاز به تغییر در فضا هستند. این مدل را می‌توان به صورت رابطه ۲ نوشت.

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i) \ln(E_{vi}) + \sum_{k=1}^k \beta_k(u_i, v_i) x_{ij} \quad (2)$$

باید بر اساس نوع منطقه در نظر گرفته شود. مهم‌ترین مسئله در مدل‌های آمار فضایی در نظر گرفتن همبستگی فضایی مناطق نزدیک به یکدیگر است به این معنا که معیار فاصله و جابه‌جایی که از مدل‌های حمل‌ونقلی است تأثیر بسزایی در چگونگی روند شیوع بین مناطق مختلف دارد.

از آنجایی اطلاعات بیماران از گزارشات وزارت بهداشت و بیمارستان‌ها دریافت می‌گردد، لذا خطای باپاس در همه این اطلاعات وجود دارد که رسیدگی به این خطاها از دست محققان خارج شده است از طرفی دیگر متغیرهای در معرض در نظر گرفته شده در همه مدل‌های آماری باید از لحاظ مخدوشگری مورد بررسی قرار گیرند. لذا در این مطالعه ارتباط بین متغیرهای مستقل بررسی و ارتباط هم خطی آن‌ها حذف گردیده است.

رگرسیون اکتشافی فضایی

مدل رگرسیون اکتشافی فضایی تمام ترکیبات ممکن متغیرهای توضیحی کاندید ورودی را ارزیابی می‌کند و به دنبال مدل‌های OLS می‌گردد که متغیر وابسته را در چارچوب معیارهای مشخص شده توسط کاربر به بهترین شکل توضیح دهد. این مدل روی باقیمانده‌های مدل‌های برازش شده بررسی‌های انجام می‌دهد تا بیابد که آیا پیش‌بینی‌های کمتر/بیش از حد خوشه‌بندی شده‌اند یا خیر، علاوه بر آن به منظور ارائه حداقل برخی اطلاعات در مورد خوشه بندی انجام شده در مواردی که هیچ یک از مدل‌ها تمام این معیارها را قبول نکنند، آزمون خودهمبستگی فضایی (Global Moran's I) نیز برای باقیمانده‌های سه مدلی که بالاترین R2 تنظیم شده را دارند اعمال خواهد شد. زمانی که ساختار مکانی قوی در متغیر وابسته وجود داشته باشد تا جایی که امکان داشته باشد متغیرهای توضیحی فضایی وارد مدل گردد تا بررسی گردد آیا همبستگی فضایی بین متغیرهای مستقل و وابسته در هریک از مدل‌ها چگونه عمل می‌کند در نهایت مدل‌ها به خوشه‌های مختلف شامل خودهمبستگی/بدون خودهمبستگی فضایی بین متغیر مستقل دسته بندی خواهد شد. در این مطالعه به منظور شناسایی متغیرها با بیشترین اثرگذاری و کمترین همبستگی فضایی از روش رگرسیون اکتشافی فضایی داده‌های جدول ۱ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

از معادله ۳ می‌توان برای تخمین $\beta_k(u_i, v_i)$ استفاده کرد.

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T (u_i, v_i) Y$$

$$k = \text{trace}(S), \quad (3)$$

که در آن S ماتریس کلاهدار است. علاوه بر AIC ، از خطای میانگین مطلق، خطای جذر میانگین مربعات، نیز برای مقایسه عملکردهای مدل استفاده خواهیم کرد. مقدار پایین‌تر خطای میانگین مطلق و خطای جذر میانگین مربعات نشان دهنده عملکرد بهینه مدل است. همچنین در نهایت از شاخص آماری موران نیز جهت صحت سنجی مدل‌ها استفاده گردید. از نظر آماری، شاخص موران یک اندازه‌گیری از همبستگی مکانی است که توسط موران (۱۹۵۰) ایجاد شده است. در این مطالعه، از شاخص موران استفاده شده است تا بررسی شود که آیا باقی مانده پیش‌بینی‌های مربوط به تعداد مبتلایان در سطح کل شهر بین ناحیه‌های ترافیکی‌های همسایه ارتباطی مکانی دارند یا خیر. ارزش منفی (مثبت) شاخص موران نشانگر همبستگی مکانی منفی (مثبت) در سطح کل است.

۴- نتایج

شهر تهران بر اساس آخرین طرح جامع حمل‌ونقل ترافیکی به ۶۰۳ ناحیه ترافیکی تفکیک شده است. ناحیه‌های ترافیکی مبنای محاسبه تعداد سفرها در ماتریس مبدأ-مقصد در زمینه حمل‌ونقل شهری می‌باشد. بر اساس همین نواحی ترافیکی تعداد سفرهای وارد شده و خارج شده به هر ناحیه ترافیکی به تفکیک سایر نواحی محاسبه می‌گردد؛ بنابراین تعداد کل سفرهای تولید شده هر ناحیه ترافیکی به ۶۰۲ ناحیه ترافیکی دیگر توزیع شده و همچنین سفرهای جذب شده به هر ناحیه‌های ترافیکی از ۵۵۹ ناحیه ترافیکی دیگر جذب شده است. معیار اصلی جابه‌جایی درون شهری در مراکز ناحیه‌های ترافیکی که به صورت ماتریس $N \times N$ می‌باشد که N تعداد کل ناحیه‌های ترافیکی را نشان می‌دهد. بنابراین مبنای تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش مراکز نواحی ترافیکی به‌عنوان مبدأ تولید و جذب سفر هر ناحیه ترافیکی می‌باشد که بر اساس آن می‌توان میزان جابه‌جایی بین

در این رابطه (u_i, v_i) مختصات منطقه i را مشخص می‌کند (در این مطالعه نواحی ترافیکی در نظر گرفته شده است). لازم به ذکر است که در مدل رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی، تابعی از مختصات مرکز ناحیه i است.

در این رابطه $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ بردار ضرایب برآورد شده در منطقه i ، X ماتریس متغیرهای برونزا، Y بردار $n \times 1$ متغیر وابسته (فراوانی تعداد افراد مبتلا شده به کوید-۱۹ در هر TAZ) و $W(u_i, v_i)$ ماتریس $n \times n$ وزن مکانی است:

$$W(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} w_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & w_{ij} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس، w_{ij} وزن متغیر j در محل i است. در این روش، معادله رگرسیون برای هر مکان بر اساس مشاهدات و متغیرهای رویارویی در مناطق مجاور بر اساس فاصله از نقطه رگرسیون و وزن هر منطقه (وزن بیشتر برای مکان‌های نزدیک‌تر) برآورد می‌شود.

اعتبار سنجی مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی از سه آماره برای اندازه‌گیری دقت برآورد استفاده شده است که ابتدا از AIC به‌عنوان نیکویی برازش استفاده خواهد شد که مقدار کمترین این معیار AIC ، نشان دهنده نیکویی برازش مدل است (Almasi et al, 2021). معیار AIC به شرح زیر تعریف شده است:

$$AIC = D + 2k,$$

$$AIC_c = -2L(\beta, \alpha) + 2K + \frac{2K(K+1)}{n-k-1},$$

که در آن D واریانس مدل را نشان می‌دهد و k تعداد پارامترها است. در رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی، به دلیل چارچوب نا پارامتری مدل، تعداد پارامترها بی‌معنی است؛ بنابراین باید تعداد مؤثری از پارامترها در نظر گرفته شود که می‌تواند به صورت رابطه ۳ نوشته شود.

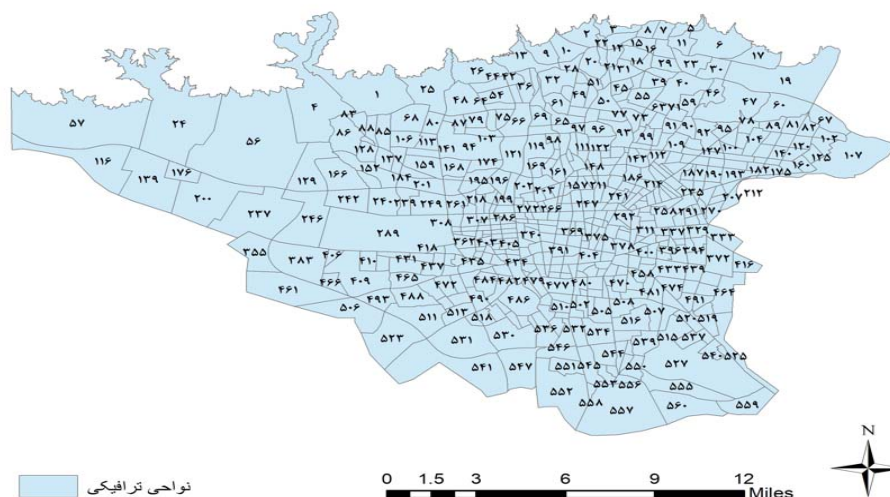
$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{pred} - y_{obs}|}{n}, \quad (6)$$

حدود ۱۰ درصد اطلاعات ثبت نشده در داده‌ها وجود داشت که با درون‌یابی داده‌های مناسب برای آن‌ها در نظر گرفته شد. جدول ۴۲ اطاعات توصیفی متغیرها بر اساس تعداد کل ناحیه‌های ترافیکی شهر تهران نشان داده شده است.

نواحی مختلف شهر تهران را بر اساس انواع مدل‌های حمل‌ونقلی تخمین زد. شکل ۱ نقشه پراکندگی نواحی ترافیکی شهر تهران را نشان می‌دهد. پس از دریافت اطلاعات پاکسازی داده‌ها انجام گرفت تا داده‌های پرت از مجموعه داده‌ها شناسایی و حذف گردد تا روند مدل‌سازی را دچار خطا نکند علاوه بر آن

جدول ۲. اطاعات توصیفی متغیرهای توضیحی

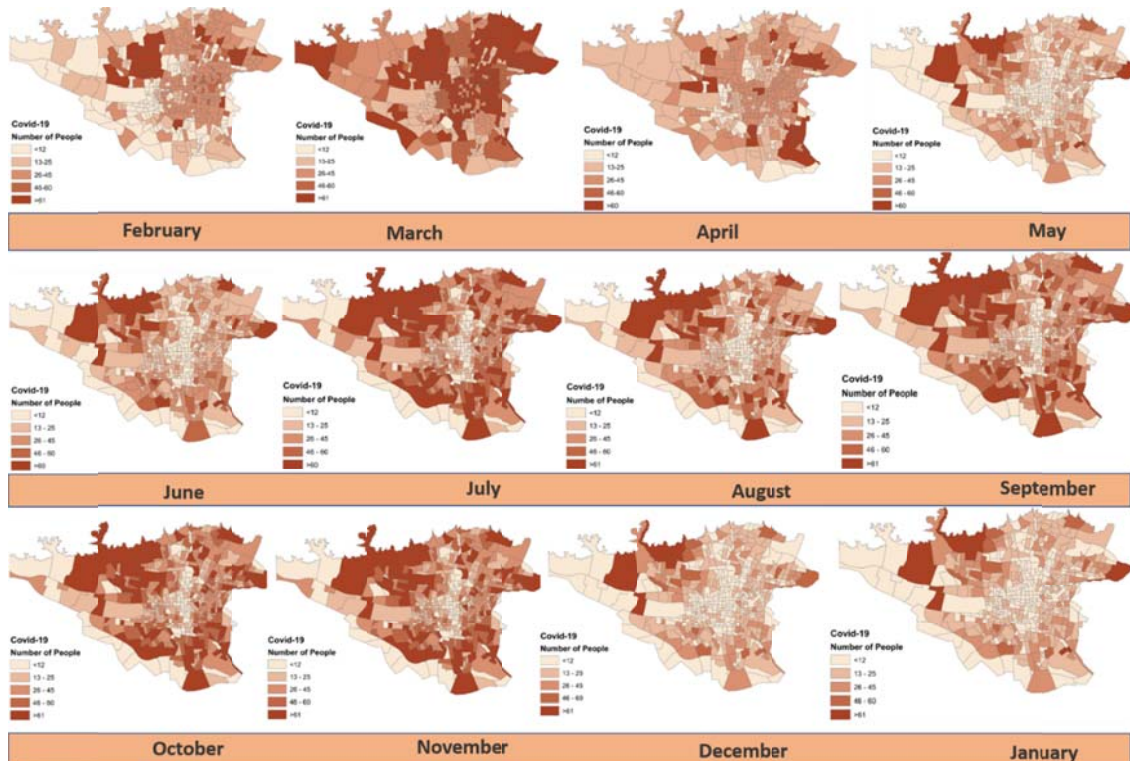
نام متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار
CV	48	2057	400.30	250.718
BS	0	122	8.63	9.931
TS	0	15	1.43	1.733
TP0	0	102437	14210.87	12259.562
TP1	0	11615	1614.32	1618.090
TP2	0	7377	1586.92	1256.323
TM	0	6498	636.99	662.254
TC	0	21192	2621.19	2657.260
RE	0	7521	992.43	1066.491
BU	0	1330	36.84	97.595
RCE	0	939	105.68	94.400
AA	0	56084258	7780450.16	6712110.391
PP	0	62440473	8662234.50	7472816.209
De	0	53492	19946.92	13184.192
Valid N	601	-	-	-



شکل ۱. نقشه پراکندگی توزیع ناحیه‌های ترافیکی در شهر تهران

معیار AdjR2 دو معیار مهم و اساسی جهت انتخاب مدل‌های بهینه است که هرچه مقدار معیار آکائیکه کمتر و مقدار AdjR2 به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده خوب بودن مدل است. همچنین در جدول ۳ مقادیر حداکثر اثر تورم واریانس و نیز سطح معناداری شاخص موران را نشان می‌دهد که در آن شاخص موران که همبستگی فضایی بین متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد معنادار بوده است همچنین بر اساس مطالعات گذشته مقدار $VIF < 10$ قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

به منظور شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در انتشار ویروس کرونا از روش رگرسیون اکتشافی فضایی استفاده گردید. پس از اجرای روش رگرسیون اکتشافی فضایی ۱۷۹۵ مدل بر اساس متغیرهای مستقل ساخته شد و در نهایت ۱۳ مدل جهت ورود به مرحله مدل فضایی پیشنهاد شده است که در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج مدل رگرسیون اکتشافی فضایی هر دسته از متغیرهای مستقل پیشنهاد شده بهترین نتیجه‌گیری در مدل‌سازی را ایجاد می‌کنند اما بر اساس مطالعات گذشته معیار آکائیکه و



شکل ۲. روند شیوع کرونا از اسفند ۱۳۹۸ تا اسفند ۱۳۹۹ در نواحی ترافیکی شهر تهران

جدول ۳. انتخاب متغیرهای مهم بر اساس روش رگرسیون اکتشافی فضایی

انتخاب متغیرها با بیشترین اثرگذاری جهت مدل‌سازی با ۱ متغیر					
SA	VIF	AICc	AdjR2	Variables	Number of Model
>0.01	۱	۶۳۲۲	۰,۹۳	AA	۱
>0.01	۱	۶۳۲۲	۰,۹۳	PP	۲
>0.01	۱	۶۳۲۲	۰,۹۳	TP0	۳
انتخاب متغیرها با بیشترین اثرگذاری جهت مدل‌سازی با ۲ متغیر					
>0.01	۶,۸۷	۶۳۰۳	۰,۹۳	TP2-AA	۱
>0.01	۶,۸۷	۶۳۰۳	۰,۹۳	TP0-TP2	۲
>0.01	۶,۸۷	۶۳۰۳	۰,۹۳	TP2-PP	۳
انتخاب متغیرها با بیشترین اثرگذاری جهت مدل‌سازی با ۳ متغیر					

>0.01	۸,۲۳	۶۳۰۱	۰,۹۳	TP2-RE-AA	۱
>0.01	۸,۲۳	۶۳۰۱	۰,۹۳	TP0-TP2-RE	۲
>0.01	۸,۲۳	۶۳۰۱	۰,۹۳	TP2-RE-AA	۳
انتخاب متغیرها با بیشترین اثرگذاری جهت مدل‌سازی با ۴ متغیر					
>0.01	۱۰,۵	۶۲۹۵	۰,۹۳	TP2-TM-RE-AA	۱
>0.01	۱۰,۵	۶۲۹۵	۰,۹۳	TP0-TP2-RE-TM	۲
>0.01	۱۰,۵	۶۲۹۵	۰,۹۳	TP2-TM-RE-PP	۳
متغیرها با بیشترین اثرگذاری جهت مدل‌سازی با ۵ متغیر					
>0.01	9.84	۶۲۹۱	۰,۹۳	TP2-TM-TC-RE-AA	۱
>0.01	9.82	۶۲۹۱	۰,۹۳	TP0-TP2-TM-TC-RE	۲
>0.01	۹,۸۲	۶۲۹۱	۰,۹۳	TP2-AA-PP-RE-TM	۳

محلی شده شهر تهران به روش رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی را نشان می‌دهد. براساس شکل ۴ در مدل رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی تقاطعات چراغدار در غرب شهر تهران نسبت به سایر نواحی تأثیر کمتری در برآورد تعداد مبتلایان به ویروس کرونا دارند همچنین در قسمت مرکزی شهر تأثیر تقاطعات چراغدار در انتشار ویروس کرونا بیشتر سایر نواحی ترافیکی است. تعداد سفرهای انجام شده در غرب و جنوب غرب و قسمتی از شمال شهر تهران بیشتر از سایر مناطق شهری تهران در برآورد تعداد افراد مبتلا به ویروس کرونا تأثیر گذار بوده است. اگرچه رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی می‌تواند در مقایسه با رگرسیون جهانی در زمینه فرآیندهای فضایی پیشرفت بزرگی باشد، اما همچنان فرض می‌کند که مقیاس همه روابط درگیر در فضا ثابت است و بنابراین امکان تجزیه و تحلیل این روابط در مقیاس‌های مختلف را نمی‌دهد. در مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تعداد سفرهای انجام شده در شمال شرق و نوار شرقی تهران بیشتر از سایر مناطق شهر تهران در برآورد تعداد افراد مبتلا به ویروس کرونا تأثیر گذار بوده است همچنین لکه‌های آبی پر رنگ که در مناطق غربی شهر تهران دیده می‌شود نشان می‌دهد که تأثیر سفرهای انجام شده در این مناطق نسبت به سایر مناطق شهر تهران در برآورد تعداد افراد مبتلا به ویروس کرونا کمتر است. در مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی تنها عدم ایستایی و ناهم‌پراکنشی داده‌ها به دلیل همبستگی فضایی در نظر گرفته می‌شود و همچنین تحلیل‌ها به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که داده‌ها را مستقل از زمان در نظر می‌گیرد.

اعتبارسنجی مدل‌ها با معیارهای MAD , $RMSE$, $AICC$ و $AdjR^2$ انجام گرفته است که توسط مطالعات گذشته پیشنهاد گردیده است (Almasi et al, 2021) براساس مطالعات

براساس نتایج رگرسیون اکتشافی فضایی مهم‌ترین معیارهای پیشگو تعداد افراد مبتلا به ویروس کرونا به ترتیب تعداد سفرهای ورودی، تعداد سفرهای خروجی به هر ناحیه ترافیکی، جمعیت افراد سالخورده آسیب پذیر در مبتلا شدن به ویروس کرونا، کاربری مسکونی در نواحی ترافیکی و تعداد مالکیت موتورسیکلت خانوار می‌باشد که جهت مدل‌سازی به روش آمار فضایی انتخاب شده‌اند. نتایج مدل رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی در جدول ۴ نشان داده شده است همان‌گونه که در مقدمه اشاره گردید مدل پواسن جهت برآورد داده‌های شمارشی با فرض برابری میانگین و واریانس نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند. بر اساس نتایج مطالعات انجام شده هر چه مدت زمان هم‌جواری افراد در یک محیط بسته بیشتر باشد نرخ ابتلای افراد سالم در آن محیط بالاتر خواهد رفت و افراد مبتلا شده جدید با ورود به سایر محیط‌ها حامل انتقال ویروس خواهند بود.

بر اساس این نتیجه معیار فاصله در نحوه جابه‌جایی از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود. هر چه فاصله نزدیکتر باشد همبستگی بین مناطق بالاتر است و میزان انتشار و انتقال ویروس بین نواحی مختلف به وسیله جابه‌جایی بیشتر خواهد بود از طرفی دیگر در فواصل دور میزان همبستگی نواحی کاهش می‌یابد اما به دلیل مدت زمان بیشتر هم‌جواری افراد میزان مبتلایان در طول مسیر افزایش می‌یابد و میزان تأثیرگذاری نواحی ترافیکی بر یکدیگر در انتقال ویروس کاملاً محسوس خواهد بود.

جدول ۴ نشان می‌دهد برآورد متغیر وابسته به روش رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی با دقت قابل قبولی انجام گرفته شود باید یادآوری کنیم که ضرایب متغیرهای توضیحی در روش‌های آمار فضایی ثابت نبوده و تابعی از فاصله جغرافیایی بین نواحی ترافیکی است شکل ۳ نتایج برآورد ضرایب متغیرهای توضیحی

توضیحی است رد می‌شود. $\text{prob} > \chi^2$ احتمال صفر بودن کل ضرایب معادله رگرسیونی را نشان می‌دهد این مقدار برای تمامی مدل‌ها از ۰,۰۵ کمتر بوده است بنابراین فرض H_0 نیز بر اساس این پارامتر رد می‌شود. مقدار R تعدیل شده برای تمامی مدل‌ها بالاتر از ۰,۹ بدست آمده است هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد مدل دقت بالاتری دارد.

مقدار -2Log Likelihood برای مقایسه بین مدل‌ها استفاده می‌گردد مقدار کوچک‌تر نشان دهنده برازش بهتر مدل است.

گذشته مقدار کمتر AICC نشانه بهتر بودن مدل است همچنین مقادیر MAD و RMSE نیز در بین مدل‌ها مقایسه می‌شود هر مدلی که مقدار کمتری داشت دقت بالاتری دارد برای AdjR2 بر اساس کتاب مک فادن مقدار بیشتر از ۰,۵ قابل قبول گزارش شده و هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد مدل دقت بالاتری دارد. در تمامی مدل‌های مقدار Likelihood ratio از حد بحرانی با سطح معناداری ۰,۰۵ عبور کرده است. بنابراین فرض H_0 که بیانگر وجود حداقل یک متغیر توضیحی بی‌اثر در پیش‌بینی تعداد مبتلایان به ویروس کرونا براساس متغیرهای

جدول ۴. نتایج مدل GWPR جهت برآورد تعداد افراد مبتلا به کرونا بر اساس متغیرهای توضیحی

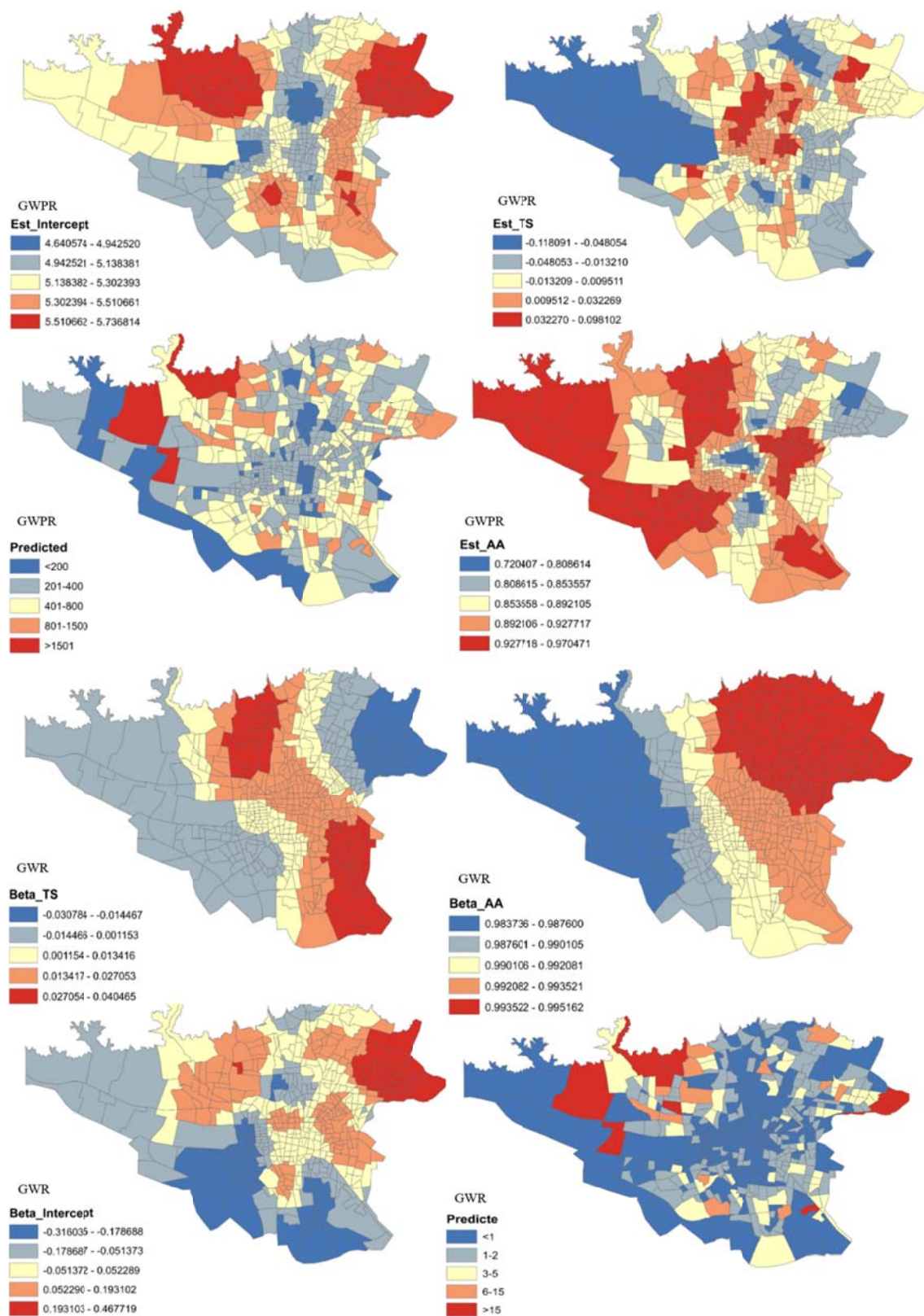
Robust STD	Interquartile R	کران بالا	کران پایین	دامنه	حداکثر	حداقل	انحراف استاندارد	میانگین	متغیرهای توضیحی
۰,۲۱۶	۰,۲۹۲	۵,۲۲	۵,۰۷۹	۱,۰۹	۵,۷۳	۴,۶۰	۰,۲۲۳	۵,۲۲	Intercept
۰,۰۳۵	۰,۰۳۴	۰,۰۱۸	-۰,۰۱۵	۰,۲۱۶	۰,۰۹۸	-۰,۱۱	۰,۰۲۹۱	-۰,۰۰۱۷	TS
۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۱	-۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۶	-۰,۰۰۰۶	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۲	TP2
۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰	-۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۷	-۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۰۷	TC
۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰	-۰,۰۰۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰۵	-۰,۰۰۰۳	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰۱	RE
۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰۱	AA

جدول ۵. نتایج مدل‌سازی به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی

Adj-t	Enp	پهنای باند	حداکثر	حداقل	انحراف استاندارد	میانگین	متغیرهای توضیحی
۳,۲۲	۳۷,۶۷	۲۵۰	۰,۴۶۸	-۰,۳۱۶	۰,۱۴۳	-۰,۰۱۱	Intercept
۲,۵۷	۴,۹۱	۲۵۰	۰,۰۴۰	-۰,۰۳۱	۰,۰۱۵	۰,۰۱۰	TS
۲,۵۷	۴,۸۵	۲۵۰	-۰,۰۰۵	-۰,۱۶۱	۰,۰۴۶	-۰,۰۸۷	TP2
۲,۰۲۹	۱,۱۶	۲۵۰	۰,۰۲۹	۰,۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۲۶	TC
۲,۰۴۹	۱,۲۳	۲۵۰	۰,۹۹۵	۰,۰۹۸۴	۰,۰۰۲	۰,۹۹۲	RE
۲,۰۴۶	۱,۲۵	۲۵۰	۰,۰۰۸	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۳	AA

جدول ۶. نیکویی برازش مدل‌های آمار فضایی برآورد تعداد مبتلایان به ویروس کرونا بر اساس متغیرهای جابه‌جایی

مدل‌های آمار فضایی برازش شده		آماره
رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی	رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی	
		Likelihood ratio
۱۵۷,۶۲	۲۴۵,۳۱۴	
		prob>chi2
۰,۰۰۶۱	۰,۰۰۱	
		Adj R2
۰,۹	۰,۹۳	
		-2Log Likelihood
۱۸۱,۳۲۱	۸۵,۳۲۱	
		AIC
۶۵۱۰,۲۱	۶۰۳۵,۲۱	
		BIC
۲۲۳۱,۲۱	۲۱۴۲,۲۱	
		MSE
۲۱,۳۱	۲,۲۴۵	
		RMSE
۳,۲۹۸	۱,۹۸۱	
		Pseudo R2
۰,۳۱۱	۰,۰۲۱	



شکل ۴. نتایج مدل‌های فضایی پیش‌بینی انتشار ویروس کرونا

راهبردی انتخاب می‌گردد. جدول ۷ مقایسه مقادیر مشاهده شده تعداد مبتلایان به ویروس کرونا مشاهده شده و پیش‌بینی شده براساس متغیرهای توضیحی برای ۲۰ ناحیه ترافیکی که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند به صورت نمونه نشان می‌دهد.

براساس جدول ۶ نیکویی برازش همه مدل در بازه قابل قبول قرار گرفته است در ادامه درصد خطای پیش‌گویی مدل‌ها بر اساس مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفته است مدلی که کمترین خطای پیش‌بینی را داشته باشد به‌عنوان مدل بهینه جهت اجرای راهکارهای مختلف اقدامات

جدول ۷. درصد مشابهت مقادیر پیش‌بینی شده در مدل‌های برازش شده

مقادیر پیش‌بینی شده بر اساس مدل‌های برازش شده				مقادیر مشاهده شده	ناحیه ترافیکی شده
GWR		GWPR			
مقادیر پیش بینی شده	درصد مشابهت با مقادیر مشاهده شده	مقادیر پیش بینی شده	درصد مشابهت با مقادیر مشاهده شده		
1431	0.96	1468	0.93	1374	523
384	0.83	388	0.79	320	536
483	0.83	490	0.77	400	548
823	0.94	843	0.91	775	528
336	0.96	340	0.97	350	554
1077	0.93	1104	0.89	997	557
246	0.88	259	0.94	276	550
237	0.75	244	0.63	178	549
321	0.78	322	0.72	251	547
675	0.92	670	0.82	622	535
502	0.96	501	0.96	480	555
429	0.99	421	0.97	432	538
432	0.81	441	0.75	352	546
159	0.74	178	0.49	118	537
370	0.83	357	0.84	309	539
366	0.99	356	0.96	371	551
744	0.91	760	0.88	678	559
541	0.82	532	0.80	442	540
379	0.84	379	0.81	318	560
542	0.93	513	0.98	505	534

جابه‌جایی درون شهری و برون شهری در الویت اقدام‌ها قرار گرفت. کشور چین که بر اساس گزارشات مبدأ انتشار ویروس بوده است ایالت ووهان و سایر ایالت‌ها را به‌طور کامل در قرنطینه قرار داد، به‌طوری که مردم حتی اجازه خروجی از منزل جهت خرید مایحتاج خود را نیز نداشتند که در نتیجه آن پس از گذشت ۶ ماه تعداد فوتی‌های کشور چین به صفر رسید. در این مطالعه در راهکار اول فرض می‌شود که بر اساس تمهیدات دولت میزان جابه‌جایی بین مناطق ۸۰ درصد کاهش یابد. این تمهیدات می‌تواند با تعطیلی مدارس و محیط‌های آموزشی، تعطیلی تمام ادارات دولتی و بخش خصوصی همچنین تعطیلی کامل سیستم حمل‌ونقل عمومی اتخاذ گردد. تعطیلی مدارس و

بنابراین با توجه به مقادیر جدول ۶ و ۷ همچنین مقادیر باقی مانده مدل، رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی به‌عنوان مدل بهینه جهت راهکارهای پیشنهادی انتخاب گردید. به منظور انجام اقدامات عملیاتی با استفاده از مدل‌سازی انجام گرفته جهت برنامه‌ریزی مدیریتی وضعیت حمل‌ونقل در شرایط بحرانی مانند انتشار ویروس کرونا اقدامات عملیاتی زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

سناریو اول: تعطیلی سراسری با کاهش ۸۰ درصدی میزان جابه‌جایی

پس از شیوع بیماری کرونا اولین اقدام دولت‌ها جهت کنترل انتشار ویروس تعطیلی سراسری و جلوگیری از هرگونه

راهکار تمام سیستم حمل و نقل عمومی و شخصی در مناطق آلوده غیرفعال می‌گردد و در سایر نواحی ترافیکی با ۵۰ درصد ظرفیت به فعالیت خود ادامه می‌دهد. پس اجرای این راهکار در بازه ۶ ماهه به‌طور متوسط با کاهش ۷۵ درصدی آمار مبتلایان به ویروس کرونا روبرو خواهیم شد نتایج مدل‌سازی این راهکار در شکل ۶ سمت چپ نشان داده شده است.

سناریو سوم: تعطیلی محیط‌های آموزشی کلیه مناطق و شیفتی کردن ساعات کار ادارات

براساس طرح جامع حمل و نقل شهرداری تهران مجموع سفرهای آموزشی و شغلی نزدیک به ۷۰ درصد از سفرهای دورن شهری شهر تهران را در بر می‌گیرد، بنابراین در صورت اتخاذ تصمیمات مناسب جهت استفاده از ساعات شناور و شیفتی در ادارات دولتی و خصوصی حجم زیادی از سفرهای روزانه کاهش می‌یابد و به تبع آن در بازه زمانی ۶ ماهه تعداد مبتلایان به ویروس کرونا کاهش چشمگیری نسبت به شرایط غیر از اتخاذ این تصمیم‌گیری خواهد داشت. در این مطالعه در راهکار ششم فرض شده است که سفرهای آموزشی به طور کامل تعطیل گردد و کارکنان ادارات خصوصی و دولتی به صورت شیفتی و تاخیر ۳ ساعته به جای حضور همزمان در محیط کاری قرار گیرند بدین صورت که تعداد کارمندان هر بخش به سه دسته تقسیم می‌گردند دسته اول از ساعت ۷ صبح تا ۱ ظهر، دسته دوم از ساعت ۱۰ صبح تا ۴ بعد از ظهر و دسته سوم به طور کامل دورکاری انجام دهند.

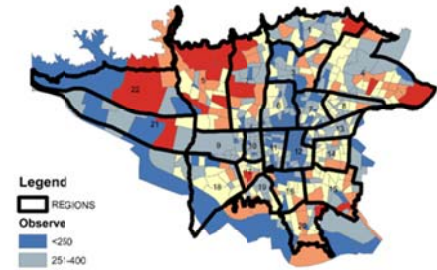
براساس این راهکار با کاهش ۷۰ درصدی همزمانی سفرها و همجواری افراد در انواع سیستم حمل و نقلی مواجه هستیم اما از ظرفیت نیروی کار حداکثر استفاده شده است. در این راهکار حجم سفرهای لحظه‌ای ۷۰ درصد کاهش می‌یابد و ۷۰ درصد نیروی کار با ساعات شناور به فعالیت خود ادامه می‌دهند با توجه به مطالعات گذشته که در فصل ۲ به آن اشاره گردید مدت زمان هم‌جواری افراد و همچنین فاصله اجتماعی از مهمترین عوامل انتشار ویروس کرونا هستند که بسته نوع مکان باز یا بسته یا تهویه مناسب و ... نرخ انتقال بیماری متفاوت است. در این راهکار هم فاصله اجتماعی افزایش می‌یابد و هم مدت زمان همجواری کاهش می‌یابد بنابراین می‌تواند راهکار مناسبی در شرایط خاص انتشار بیماری باشد شکل ۶ سمت راست نقشه پراکندگی تعداد افراد مبتلا به بیماری پس از ۶ ماه از اجرای راهکار ششم را نشان می‌دهد.

محیط‌های آموزشی براساس مطالعات انجام گرفته به دو دلیل است دلیل اول: بین ۲۵ تا ۳۵ درصد از سفرهای روزانه شهر تهران از نوع سفر آموزشی می‌باشند (طرح جامع حمل و نقل ترافیک شهر تهران، ۱۳۸۵) و دلیل دوم: تراکم افراد در یک محدود و همچنین مدت زمان همجواری یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در افزایش نرخ مبتلایان به ویروس کرونا است (Wei, 2020). بنابراین توسعه زیر ساخت‌های آموزش مجازی علاوه بر مدیریت صحیح سیستم حمل و نقلی در ایام بحران انتشار بیماری، باعث کاهش سفرها و به دنبال آن کاهش آلودگی و ترافیک شهری نیز می‌گردد (طرح جامع حمل و نقل ترافیک شهر تهران، ۱۳۸۵) از طرفی دیگر مطالعات نشان داده است نرخ بروز بیماری در سیستم سلامت بدنی افراد جامعه متفاوت است و ممکن است افراد شیوه بروز و زمان بروز متفاوتی داشته باشند یا حتی بروز علائم تا پایان دوره بیماری نداشته باشند اما ناقل بیماری باشند (Shariati M, 2020). در شکل ۵ نماد CV80 نشان دهنده تعداد مبتلایان به ویروس کرونا با کاهش ۸۰ درصدی میزان جابه‌جایی در یک دوره ۶ ماهه می‌باشد همچنین AA80 تعداد جابه‌جایی‌های انجام شده با کاهش ۸۰ درصدی در بازه ۶ ماهه مطالعه است همان‌گونه که مشخص است به دلیل آنکه عوامل زیادی در انتشار ویروس کرونا تأثیرگذار هستند در بازه ۳ ماهه اول کاهش ۸۰ درصدی میزان جابه‌جایی کاهش آمار مبتلایان تغییرات کمتری داشته است اما با مرور زمان این مقدار کاهش بیشتری داشته است همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر میزان کاهش تعداد مبتلایان در سطح نواحی ترافیکی شکل ۵ پراکندگی تعداد مبتلایان در نواحی ترافیکی را نشان می‌دهد.

سناریو دوم: تعطیلی سراسری محیط‌های آموزشی و قرنطینه مناطق آلوده

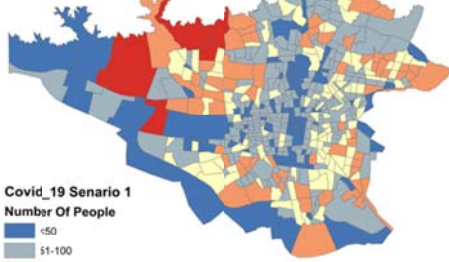
مناطق آلوده تهران از مناطق بسیار پر تردد نواحی ترافیکی شهر تهران هستند قرنطینه کامل این مناطق باعث کاهش تعداد سفرهای کل در شهر تهران می‌شود علاوه بر آن با توجه به همبستگی فضایی بین داده‌های مبتلایان به ویروس کرونا در شهر تهران، کاهش آمار مبتلایان نواحی هم‌جوار تغییرات چشم‌گیری در بازه ۶ ماهه خواهد داشت. تمهیدات لازم برای قرنطینه این مناطق می‌تواند دورکاری کامل ساکنان این مناطق و همچنین تأمین مایحتاج در مکان‌های مناسب جهت جلوگیری از خروج ساکنین از نواحی ترافیکی آلوده یا منازل گردد. در این

فصلنامه علمی جاده، سال بیست و یکم، دوره چهارم، شماره ۱۱۷، زمستان ۱۴۰۲



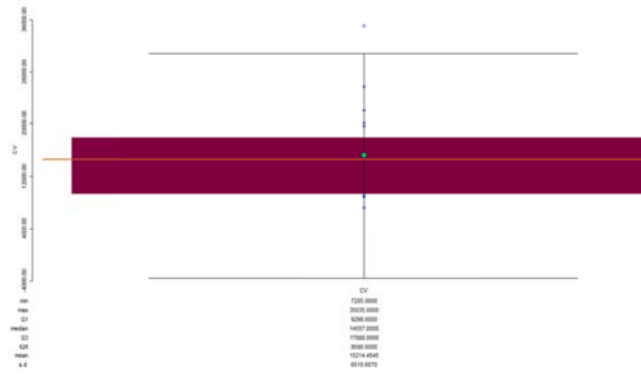
Legend
 REGIONS
 Observe
 <250
 25-400
 400-800
 800-1500
 >1501

پراکندگی آمار مبتلایان به ویروس کرونا در سطح مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

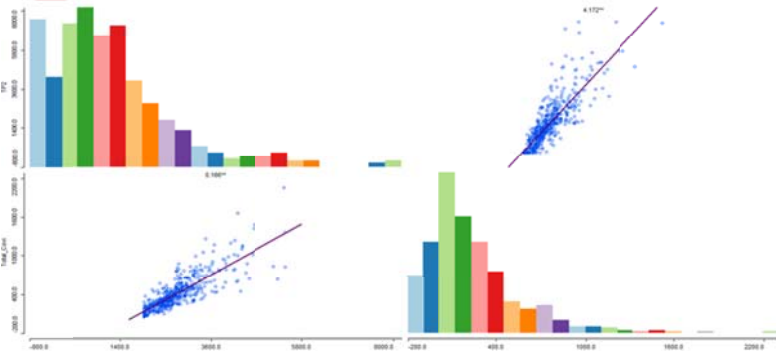
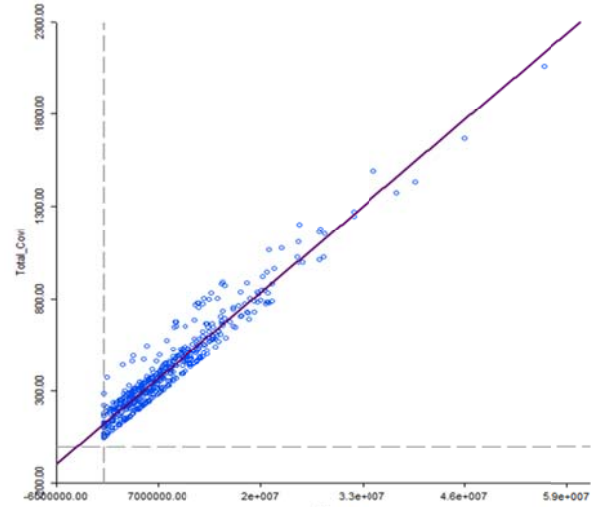


Covid_19 Senario 1
 Number Of People
 <50
 51-100
 101-150
 151-300
 >301

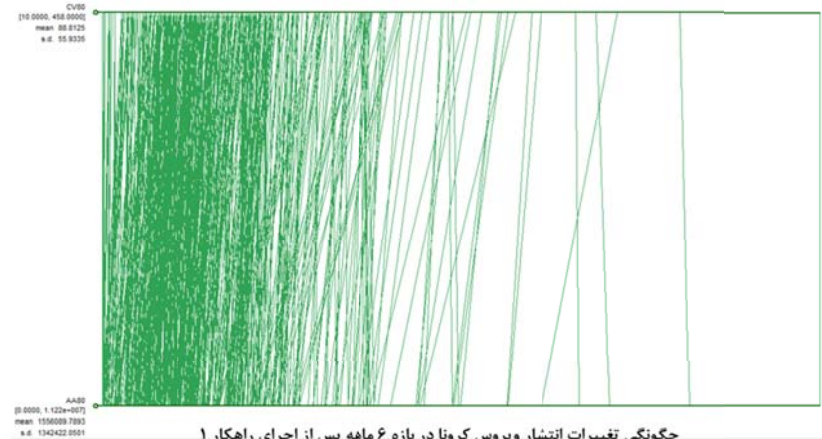
پراکندگی آمار مبتلایان به ویروس کرونا پس از اجرای راهکار ۱ در بازه ۶ ماهه



ارتباط بین میزان جابجایی و تعداد مبتلایان به ویروس کرونا بر اساس اطلاعات مشاهده شده



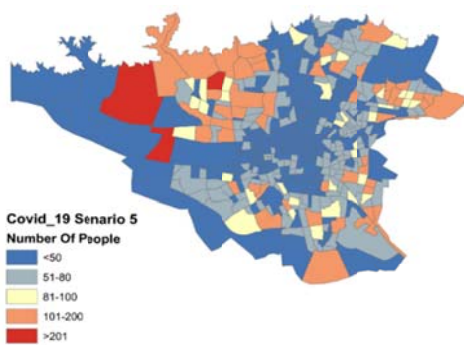
ارتباط بین تعداد مبتلایان به ویروس کرونا و جمعیت افراد سالخورده در هر یک از نواحی ترافیکی



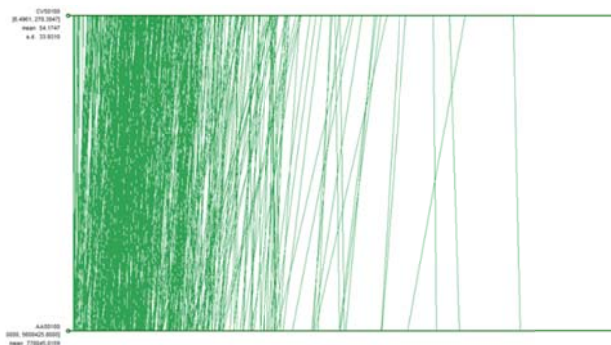
چگونگی تغییرات انتشار ویروس کرونا در بازه ۶ ماهه پس از اجرای راهکار ۱

شکل ۵. نتایج مدلسازی اجرای سناریو اول

بر آن نقشه پراکندگی تعداد مبتلایان به ویروس کرونا در بازه زمانی ۶ ماهه پس از اجرای راهکار سوم نیز نشان داده شده است
 به طور متوسط تعداد کل مبتلایان به ویروس کرونا در این راهکار پس از ۶ ماه اجرای آن ۶۰ درصد کاهش نسبت به حالت راهکار شماره ۲ خواهد داشت.



تغییرات آمار مبتلایان به ویروس کرونا در دوره ۶ ماهه پس از اجرا سناریوی سوم



چگونگی تغییرات انتشار ویروس کرونا در بازه ۶ ماهه پس از اجرای سناریوی سوم

شکل ۶. نتایج مدل‌سازی سناریوی دوم

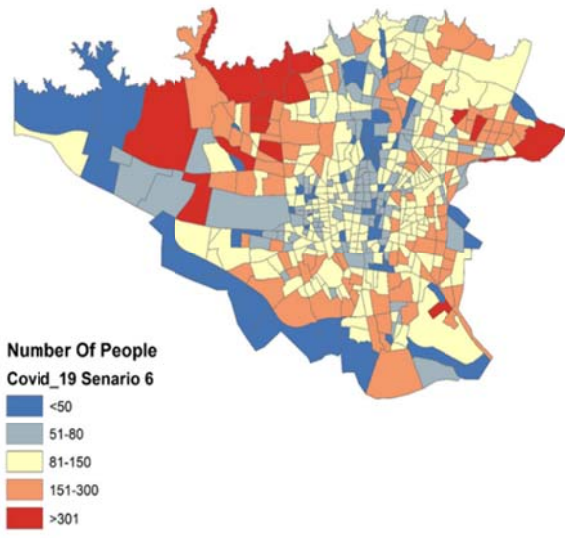
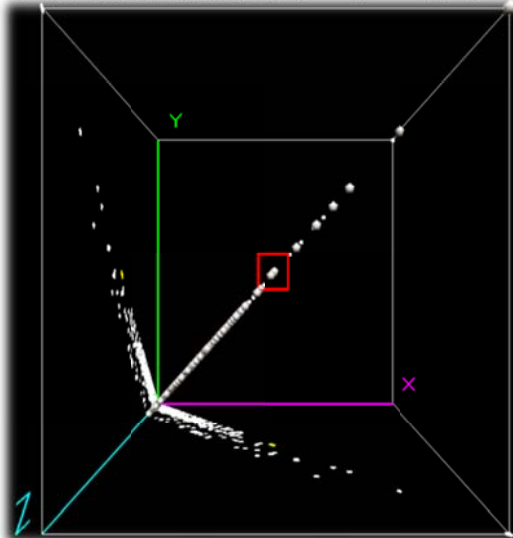
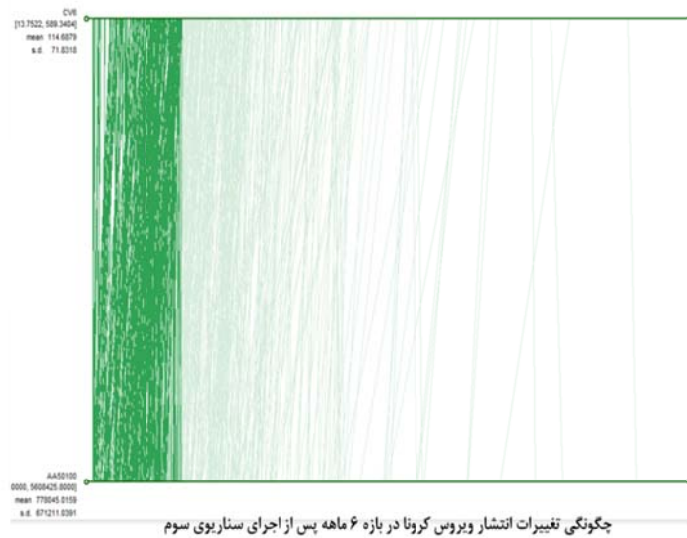
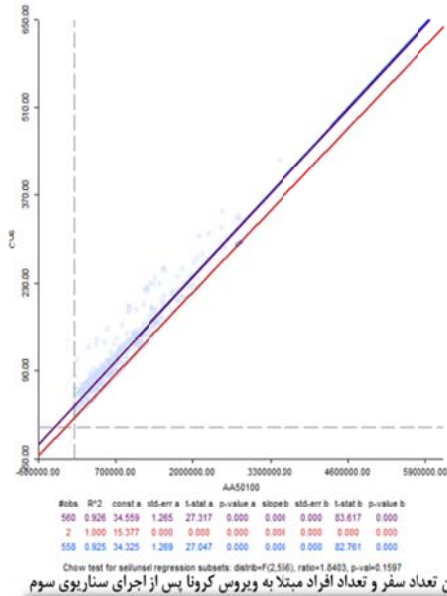
خاص می‌پذیرد. نتایج مطالعه نشان داد که رابطه خطی بین تعداد سفرهای انجام شده در هر ناحیه ترافیکی با آمار تعداد مبتلایان به ویروس کرونا وجود دارد همچنین علاوه بر متغیر توضیحی تعداد سفر، متغیرهای توضیحی تعداد تقاطعات چراغ‌دار، سرانه مالکیت خودرو خانوار، تراکم واحدهای مسکونی، جمعیت افراد بالای ۶۰ سال در هر ناحیه ترافیکی در آمار تعداد مبتلایان به ویروس کرونا بسیار تأثیرگذار هستند. یکی از مهمترین نوآوری‌ها در این مطالعه شناسایی متغیرهای رویارویی تأثیر گذار در انتشار ویروس کرونا به روش اکتشافی فضایی است که در آن پس از ساختن بیش از ۴۰۰ مدل پیشنهادی ۵ مدل محلی مناسب جهت ارزیابی عوامل تأثیرگذار در انتشار ویروس کرونا انتخاب گردیده است علاوه بر آن استفاده از روش‌های متفاوت آمار فضایی با پهنای باند ثابت و متغیر همچنین یافتن شعاع جستجوی بهینه یکی دیگر از مهمترین نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد. در این مطالعه در هر مدل محلی تأثیر هریک از متغیرهای توضیحی در موقعیت‌های مختلف بر انتشار ویروس کرونا در مناطق مختلف شهر نشان داده شده است همچنین اثر توأم متغیرهای توضیحی در برآورد تعداد مبتلایان به ویروس کرونا در نظر گرفته شده است که دستاور مهم این تحقیق می‌باشد. دستارود نتایج این مطالعه به مدیران و تصمیم‌گیرندگان مدیریت

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از ۳ مدل آمار فضایی جهت پیدا کردن مدل بهینه متناسب با داده‌های تعداد مبتلایان به ویروس کرونا سایر متغیرهای توضیحی استفاده گردید. مدل‌های آمار فضایی از مدل‌های بسیار پرکاربرد جهت چگونگی انتشار ویروس کرونا می‌باشد که پس از شیوع کرونا محققان کشورهای مختلف جهت محلی سازی داده‌های کوید-۱۹ از آن استفاده کردند. مدل‌های آمار فضایی با تکیه بر موقعیت جغرافیایی با دو رویکرد مکان مبنا و ناحیه مبنا به تحلیل داده‌های مکانی می‌پردازد که در این مطالعه از رویکرد ناحیه‌ای (TAZ) آمار فضایی استفاده گردید. هریک از مدل‌های آمار فضایی قابلیت‌های متفاوتی در بهینه سازی مدل‌ها مکان مبنا دارند و تمامی نتایج مدل‌سازی مربوط به یک حوزه جغرافیایی خاص می‌باشد و نمی‌توان از روی نتایج این مطالعه نتیجه‌گیری جهت رویکردهای مشابه اتخاذ نمود چرا که ساختار مدل‌های فضایی محلی‌سازی مدل‌ها جهت پیشگویی مناسب در یک حوزه قضایی منحصر به فرد است. مهم‌ترین معیار در ارتباط بین موقعیت مختلف جغرافیایی در محدوده مورد مطالعه ماتریس وزنی ضرایب براساس فاصله اقلیدسی است. به‌طوریکه نواحی ترافیکی نزدیک‌تر تأثیر فضایی بیشتری نسبت به نواحی ترافیکی دورتر از یک ناحیه ترافیکی

بر انتشار ویروس کرونا را کاهش می‌دهد. در این مطالعه ضرایب R^2 محلی، انحراف استاندارد از مقادیر واقعی مشاهده شده و معیار AIC دقت مدل‌ها را ارزیابی کرده‌اند و نشان داده‌اند که مدل‌ها از دقت قابل قبولی جهت پیش‌بینی تعداد مبتلایان به ویروس کرونا برخوردارند.

شهری و ستاد مبارزه با کرونا و سایر بیماری‌های واگیردار کمک می‌کند که در چه شرایطی چه نوع تصمیمی بهترین نتیجه را خواهد داد در این مطالعه علاوه بر موارد گفته شده ۶ راهکار ارائه گردیده است که باتوجه به شرایط اقتصادی و اجتماعی کشور در شرایط وقوع بحران می‌تواند نتایج خوبی را ارائه نماید. شیفیتی کردن ساعات کاری در ادارات دولتی و خصوصی یکی از مهمترین دستاوردهای این تحقیق می‌باشد که ضمن کاهش ۳۰ درصدی نیروی کار در ادارات و دورکاری، ۷۰ درصد تأثیر جابه‌جایی



شکل ۷. نتایج مدلسازی سناریوی سوم

-Dutta, i. Basu, t. Das, a. spatial analysis of covid-19 incidence and its determinants using spatial modeling: a study on India. *Environmental challenges 4 (2021) 100096*.

-Horse, a. Yang, t. Huysen, k. Structural inequalities established the architecture for covid-19 pandemic among Native americans in Arizona: a geographically weighted regression perspective. *Journal of racial and ethnic health disparities (2021)*.

doi.org/10.1007/s40615-020-00940-2

-Iata, (2020) a. Covid-19 impact on asia-pacific aviation worsens. Available at:

<https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-24-01/>.

-Icao, 2020. Economic impacts of covid-19 on civil aviation.

-Jiang, p. Fu, x. Fan, y, v. Klemes, j. Chen, p. Ma, s. Zhang, w. Spatial-temporal potential exposure risk analytics and urban sustainability impacts related to covid-19 mitigation: a perspective from car mobility behavior. *Journal of cleaner production 279 (2021) 123673*.

-Jiang, p. Fu, x. Fan, y, v. Klemes, j. Chen, p. Ma, s. Zhang, w. Spatial-temporal potential exposure risk analytics and urban sustainability impacts related to covid-19 mitigation: a perspective from car mobility behavior. *Journal of cleaner production 279 (2021) 123673*.

-Kucharski, a.j., russell, t.w., diamond, c., liu, y., edmunds, j., funk, s., eggo, r.m., sun, f. Jit, m., munday, j.d., (2020). Early dynamics of transmission and control of covid-19: a mathematical modelling study. *Lancet Infect. Dis.* **doi.org/10.1101/2020.01.31.20019901**

-Liu, h., Bai, x., shen, h., pang, x., liang, z., liu, y., (2020). Synchronized travel restrictions across cities can be effective in covid-19 control.

doi.org/10.1101/ 2020.04.02.20050781

-Maiti, a. Zhang, q. Sannigrahi, g. Pramanik, s. Chakraborti, s. Cerda, a. Pilla, f. Exploring spatiotemporal effects of the driving factors on covid-19 incidences in the contiguous United States. *Sustainable cities and society 68 (2021) 102784* available.

-Mansour, s. Al kindi, a. Al-said, a. Al-said, a. Atkinson, p. Sociodemographic determinants of covid-19 incidence rates in Oman: geospatial modelling using multiscale geographically weighted regression (mgwr). *Sustainable cities and society 65 (2021), 102627*.

۶- سیاست‌گذاری

نویسندگان این مقاله از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، همچنین دانشگاه علوم پزشکی به منظور در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم تشکر و قدردانی می‌کند.

۷- مراجع

-پویان، سهیلا. پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۹). ویروس کرونا (کووید-۱۹) در ایران و جهان. بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه شیراز.

-رحیمی ریس، زینب. ارشادی، محمد مهدی. شهابی حقیقی، سید حمیدرضا (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو شیوع کرونا در ایران توسط مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها، با محوریت سیستم حمل‌ونقل. فصلنامه پژوهشنامه حمل‌ونقل. دوره ۱۷ شماره ۲.

-مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۹). مطالعات زیربنایی، شماره مسلسل ۱۷۰۷۶.

-Almasi, s. A., and behnood, h. R., and arvin, r. (2021). Pedestrian crash exposure analysis using alternative geographically weighted regression models. *Journal of advanced transportation*.

-Amirian, s. (2004), Analysis the reciprocal relationship of rail transportation with other economic sectors using the input- output table. *Economic research 13 (4)*, 113-128.

-Aysegul, e. Muhtesem, k. and merter, m. (2012). Transportation-communication capital and economic growth: a vecm analysis for turkey, *European planning studies 20(2)*, 341-363.

-Bennett, m. All things equal? Heterogeneity in policy effectiveness against covid-19 spread in chile. *World development*. 137 (2021), 105208.

-Chen, y. Bo huang, m. Wu, c. Shi, W. (2021). Modeling the spatiotemporal association between covid-19 transmission and population mobility using geographically and temporally weighted regression. *Research article*, 10.1029/2021gh000402.

-Carteni, a. Di Francesco, l. Martino, m. How mobility habits influenced the spread of the covid-19 pandemic: results from the Italian case study. *Science of the total environment 741 (2020) 140489*.

- of covid-19 and exploration of its environmental and socio-demographic risk factors using spatial statistical methods: a case study of Iran. *Health in emergencies and disasters quarterly*. 5 (3. covid-19), 145-154.
- Wei, j. Liu, y. Zhu, y. Qian, j. (2020). Impacts of transportation and meteorological factors on the transmission of covid-19. *International journal of hygiene and environmental health* 230 (2020) 113610.
- World health organization, (2020). Coronavirus disease 2019 (covid-19): *situation report*. 72-73.
- www.icao.int/sustainability/pages/economic-impacts-of-covid-19.aspx. Accessed.
- Xiong, ch. Hu, s. Yang, m. Luo, w. Zhang, l. Mobile device data reveal the dynamics in a positive relationship between human mobility and covid-19 infections. *Pnas*. Nov. 3, (2020). Vol. 117 No. 44
- Zhang, j. (2020). Transport policymaking that accounts for covid-19 and future public, *transport policy* 99. 405-418.
- Middya, a. Roy, s. Geographically varying relationships of covid-19 mortality with different factors in india. *Scientific reports*. **doi.org/10.1038/s41598-021-86987-5**
- Mollalo, a. Vahedi, b. Rivera, k. Gis-based spatial modeling of covid-19 incidence rate in the continental united states. *Science of the total environment* 728 (2020) 138884.
- Pei, l. Wang, x. Guo, b. Guo, h. (2021). Do air pollutants as well as meteorological factors impact corona virus disease 2019 (covid-19)? Evidence from china based on the geographical perspective. *Environmental science and pollution research*. **doi.org/10.1007/s11356-021-12934-6**
- Rahman, h. Zafri, n, m. Ashik, f, r. Waliullah, m. Khan, a. (2021). Identification of risk factors contributing to covid-19 incidence rates in Bangladesh, *a gis-based spatial modeling approach*.
- Sannigrahi, s. Pilla, f. Basu, b. Sarkar basu, a. Molter, a. Examining the association between socio-demographic composition and covid-19 fatalities in the european region using spatial regression approach. *Sustainable cities and society* 62 (2020) 102418.
- Shariati m, jahangiri-rad m, mahmud muhammad f, shariati j. (2020). Spatial analysis

Spatial Modeling of the Spread of the Coronavirus due to the Mobility and Displacement of People (Case Study: Tehran Metropolis)

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Mojtaba Saadati, Professor, Faculty of Strategic Research, National Higher National Defense University, Tehran, Iran.

Saeed Abdulahi Lashki, Ph.D. student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*Ahmadreza Almasi, Ph.D. student, Department of Transportation Planning,
Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

The effect of displacement on the spread of viruses is a very important issue that has been studied by different societies in order to identify the factors influencing the spread of the disease. The use of spatial statistical models is one of the most recent modeling of how the virus spreads in the regions of a city or country based on location data, and one of the most important features of these models is localization based on the relationship between data. The location of people infected with the virus and local explanatory variables affecting the spread of the virus. In this study, in the first step, among the 12 available explanatory variables, 1795 spatial models were built using the exploratory regression method, so based on that spatial dependence, collinearity of the explanatory variables are considered, and finally, 5 variables that have the least linear and spatial correlation. And also, they had the most effect on the spread of the disease and were selected to continue the modeling. In the second step, in order to model the effect of the identified variables on the spread of the coronavirus, three location-based statistical models, geographically weighted regression (GWR) and geographically weighted Poisson regression (GWPR) were used. The results of the study showed that the amount of movement, the population of elderly people in each traffic area and then the number of cars per household has the greatest impact on the spread of the coronavirus. Also, by creating severe restrictions on travel in polluted traffic areas in order to cut off the chain of transmission to other areas, as well as reducing the amount of travel in other areas, such as virtual education in schools and universities and remote work in offices, it can have a significant impact in 6 months. to prevent the spread of the coronavirus. At the end of the study, 3 scenarios were proposed to prevent the spread of the virus in critical conditions for 22 areas of Tehran and 603 traffic areas.

Keywords: Spatial Statistics, Transportation, Coronavirus, Traffic Zone