



شش از دور

,

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲  
Vol.15, No. 1, Spring 2023

۶۳-۸۴

مقاله پژوهشی

## شناسایی الگوهای زمانی- مکانی ازدحام ترافیکی

### با استفاده از کلان داده‌های مبتنی بر تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل

متین شهری<sup>۱\*</sup> و افشین شریعت مهیمنی<sup>۲</sup>

۱. استادیار دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

۲. استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

#### چکیده

تحلیل وضعیت ترافیکی و پیشنهاد روش‌های مدیریت جریان ترافیک نقش اساسی در ارزیابی عملکرد بسیاری از سیستم‌های حمل و نقلی ایفا می‌کند. در بین روش‌های جمع‌آوری داده‌های ترافیکی، رویکردهای مبتنی بر فناوری‌های نوین که امکان گردآوری حجم بسیاری از داده‌های پویای زمانی- مکانی را فراهم می‌آورند و استخراج روندها و الگوها را تسهیل می‌کنند اهمیت بسیاری دارند. در این پژوهش، تهران به‌منزله پایتخت ایران، با ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی خاصی که دارد و تنوع سفرها که به وضعیت ترافیکی متغیر منجر می‌شود، مطالعه شده است. داده‌های حاصل از پردازش رقومی تصاویر ترافیکی به‌دست‌آمده از سرویس نقشه گوگل در بازه زمانی پیوسته یک‌ماهه‌ای (هفدهم فروردین تا هفدهم اردیبهشت ۱۳۹۸)، نخستین بار به‌منظور ارزیابی روند تغییرات میانگین ازدحام ترافیکی در سطح نواحی منطقه مطالعاتی، به کار رفته است. پس از استخراج داده‌های اولیه و با توجه به تغییر الگوی سفرها و در نتیجه، میزان ازدحام ترافیکی، شاخص ازدحام ترافیکی (CI) به تفکیک در روزهای کاری و غیرکاری، محاسبه شد و به مرکز نواحی ۱۱۷ گانه شهر تهران اختصاص یافت. با استفاده از تحلیل‌های توصیفی روی کلان داده‌های مورد بررسی، ساعات اوج ازدحام ترافیکی در بازه زمانی مورد مطالعه استخراج شد. سپس شاخص Getis Ord، نواحی پر ازدحام منطقه مطالعاتی را براساس ارزیابی خوشه‌های مکانی، مشخص کرد. همچنین ارتباط زمانی بین مقادیر ازدحام ترافیکی، در برش‌های زمانی متفاوت طی کل بازه زمانی مورد مطالعه، با استفاده از آزمون آماری کروسکال والیس ارزیابی شد و فرض صفر مبتنی بر همبستگی بین مقادیر میانگین ازدحام و در نتیجه، همبستگی زمانی بین مقادیر تأیید شد. با استفاده از تحلیل‌های پوششی نقشه‌های ترافیکی نیز، خوشه‌های ترافیکی پر ازدحام در سطح اطمینان ۹۰٪، در اوج صبح و عصر، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری استخراج شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در اصلاح و بازنگری محدوده‌های ترافیکی مؤثر باشد و همچنین به تحلیل‌های مرتبط با آلودگی هوا، مطالعات در زمینه قیمت‌گذاری معابر و بررسی روند شکل‌گیری و انتشار گلوگاه‌های ترافیکی در بازه‌های زمانی دلخواه، یاری برساند.

**کلیدواژه‌ها:** ازدحام ترافیکی، تحلیل مکانی، تحلیل زمانی، نقشه‌های پوششی، تصاویر ترافیکی.

\* نویسنده مکاتبه کننده: اراک، خیابان دانشگاه، دانشگاه صنعتی اراک، صندوق پستی: ۳۸۱۳۵۱۱۷۷. تلفن: ۰۹۱۹۰۵۱۵۲۲۷

## ۱- مقدمه

مدیریت یکپارچه ترافیک، نیاز به برداشت داده‌های ترافیکی، به صورت پیوسته و در نقاط گوناگون شبکه، بیش از پیش احساس می‌شود. بدیهی است نصب حسگرهای فیزیکی، در سطح گسترده، نیازمند صرف هزینه بسیار است که در بسیاری موارد، خارج از توان متولیان حوزه مدیریت شهری است. بسیاری از کلان‌شهرهای ایران نیز از این موضوع مستثنا نیستند. حسگرهای فیزیکی و دوربین‌های نظارتی ثبت داده‌ها صرفاً در برخی موقعیت‌های خاص و در سطح برخی معابر نصب شده‌اند و امکان نظارت همه‌جانبه و یکپارچه بر کل منطقه مطالعاتی را در بازه‌های زمانی پیوسته، فراهم نمی‌کنند؛ بنابراین جریانی پیوسته از داده‌های ازدحام ترافیکی به دست نمی‌دهند. بدین ترتیب امکان وجود گپ یا داده از دست‌رفته<sup>۴</sup>، در پایگاه داده مورد نظر، بسیار محتمل است. چنین وضعی در فرایند یادشده ضرورت استفاده از روش‌هایی را نشان می‌دهد که امکان ثبت داده‌های با قابلیت اعتماد بالا و پیوسته را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار دهد. در این بین، روش‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند<sup>۵</sup>، در سال‌های اخیر، بیش از پیش مورد توجه متخصصان قرار گرفته است ( Shariat Mohaymany & Shahri, 2020; Wagner et al., 2020; Li et al., 2021; Rodriguez-Vega et al., 2021). به‌طور کلی ماهیت داده‌هایی که با استفاده از روش‌های نوین جمع‌آوری اطلاعات برداشت می‌شوند و ویژگی چندزمانه بودن آنها امکان انجام‌شدن انواع تحلیل‌های دینامیک و چندزمانه را فراهم می‌کند. موقعیت زمانی و مکانی افراد را می‌توان، در گستره وسیعی از مطالعات، استفاده کرد. از اطلاعات حاصل از این نوع داده‌ها می‌توان برای شناسایی الگوهای سفر افراد در بازه‌های زمانی مشخص، شناسایی نواحی دارای ازدحام ترافیکی

در بسیاری از کلان‌شهرها، بر اثر رشد سریع اقتصادی، افزایش درآمد مردم و توسعه شهرنشینی، نیاز بیشتری به حمل‌ونقل ایجاد شده و تعداد وسایل نقلیه نیز رشد شایان توجهی یافته است. افزایش روزافزون میزان ترافیک و به تبع آن، ازدحام<sup>۱</sup> ترافیکی به افزایش زمان سفر نیز منجر می‌شود. این مسئله پیامدهایی همچون زیان‌های اقتصادی ناشی از هدررفت سوخت، تأثیرات نامناسب در جابه‌جایی مسافران و کالا، افزایش آلودگی‌های محیط‌زیستی و افزایش وقوع تصادفات و رویدادهای ترافیکی را به دنبال خواهد داشت. بر این اساس، بررسی روش‌هایی که به درک بهتر از شرایط و وضعیت سیستم حمل‌ونقل بینجامد و به کاهش تأثیرات ازدحام ترافیکی کمک کند همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسان حمل‌ونقل بوده است. به این منظور، جمع‌آوری داده‌های پویای زمانی- مکانی جامع از کل منطقه مطالعاتی، با استفاده از ابزارها و روش‌های کم‌هزینه گردآوری اطلاعات، بسیار ضروری است.

از گذشته تا به امروز روش‌های متفاوتی، به‌منظور گردآوری اطلاعات و داده‌های ترافیکی، استفاده شده است که برای نمونه، می‌توان به پلاک‌خوانی<sup>۲</sup> ( Zhan et al., 2021; Yao et al., 2021) و وسیله نقلیه آزمون<sup>۳</sup> ( خودروی شناور) ( Rahmani et al., 2017; Dewulf et al., 2015) و استفاده از حسگرهای نصب‌شده در سطح یا حاشیه راه و شمارش‌های دستی اشاره کرد. با وجود این، بنا به دلایل گوناگون، اتکا به روش‌های سنتی در عصر کنونی پاسخگوی نیازهای حمل‌ونقلی فعلی نخواهد بود؛ از جمله اینکه هزینه نصب و نگهداری حسگرهای فیزیکی زیاد است و درموردی که بتوان داده‌های مورد نیاز را با دقت مناسب، از طریق روش‌های کم‌هزینه‌تر به دست آورد، استفاده از حسگرهای فیزیکی منطقی و مقرون‌به‌صرفه نخواهد بود. از طرف دیگر، سطح پوشش حسگرهای فیزیکی نصب‌شده در سطح شبکه معابر محدود است. این در حالی است که با گسترش شبکه حمل‌ونقلی و ظهور مفاهیمی همچون

1. Congestion
2. License Plate
3. Floating Car
4. Missing Data
5. Intelligent Transportation System

فقدان ارتباطات مکانی و خوشه‌ها با مقادیر بالا و پایین یک متغیر، مطرح شده‌اند. با اینکه این شاخص‌ها براساس روابط آماری متفاوتی تعریف شده‌اند، مبنای همه آنها مدل کردن ارتباطات محلی، مانند مجاورت‌ها یا همسایگی‌ها، از طریق تعریف ماتریس همسایگی است. یکی از متداول‌ترین این شاخص‌ها که به‌منظور استخراج خوشه‌های مکانی و نقاط پرخطر<sup>۱</sup> استفاده شده، شاخص Getis Ord است که در شاخه‌های گوناگون علوم همچون علوم محیطی، پزشکی و مطالعات شهری کاربرد داشته است (Shaker et al., 2019; Naylor et al., 2019). از دیگر سو، بیشتر داده‌های ترافیکی مانند ازدحام ترافیکی، ماهیت غیرخطی و پویا دارند و نه تنها در موقعیت‌های مکانی گوناگون، مقادیر متفاوتی نشان می‌دهند بلکه در بازه‌های زمانی متفاوت (اوج صبح، اوج عصر و میان روز) نیز تغییر می‌کنند. وجود هر دو نوع اطلاعات زمانی و مکانی و ترکیب هر دو بعد (زمان و مکان) به درکی بهتر از روابط بین متغیرها منجر خواهد شد. دقت این‌گونه مدل‌ها به نوع تعریف همسایگی‌های زمانی و مکانی بازمی‌گردد. از بین مدل‌های متنوعی که امروزه در تحلیل داده‌های زمانی- مکانی اجرایی و عملی‌اند، می‌توان مدل‌های پانل زمانی- مکانی (Oud et al., 2012; Elhorst, 2001)، مدل‌های ژئواستاتستیک زمانی همچون کربجینگ زمانی- مکانی (Griffith, 2010; Gething et al., 2008)، مدل‌های اتورگرسیون زمانی- مکانی تعمیم‌یافته مبتنی بر پنجره متحرک، مدل‌های سلسله‌مراتبی (Li et al., 2013)، مدل‌های مبتنی بر منشور زمان- مکان و مدل‌های رگرسیون وزنی زمانی- مکانی (GTWR)<sup>۲</sup> را نام برد. همچنین می‌توان به مطالعاتی اشاره کرد که با روش‌های گوناگون، به استخراج الگوهای مکانی ازدحام ترافیکی (Muñoz-Villamizar et al., 2021; Kohan & Ale, 2020; Zhao & Hu, 2019) و نیز ناهمگنی‌های

در ساعات متفاوت روز، محاسبه پویای زمان سفر معابر، شناسایی شیوه‌های سفر افراد و بسیاری موارد دیگر بهره برد. در این بین، تصاویر رقومی به‌دست‌آمده از برنامه‌های کاربردی مانند گوگل، یا سایر برنامه‌های مشابه که اطلاعات مرتبط با تاریخچه زمانی دریافت تصاویر را نیز دربر دارند، امکان انجام‌دادن بسیاری از تحلیل‌های زمانی و مکانی را فراهم می‌کند.

از دیگر سو، در سال‌های اخیر، روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوتی به‌منظور مدیریت جریان ترافیک و کاهش تأثیرات منفی ازدحام ترافیکی، از سوی محققان و متخصصان پیشنهاد شده است. مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد محققان گوناگونی ازدحام ترافیکی در نواحی شهری را از دیدگاه‌های متفاوتی بررسی کرده‌اند. برخی پژوهشگران میزان ازدحام ترافیکی را براساس برخی شاخص‌های تک‌متغیره، همچون زمان سفر یا سرعت، استخراج کردند (Jia et al., 2011; He et al., 2016) و برخی دیگر، در مطالعات خود از شاخص‌های چندگانه بهره برده‌اند (Bertini et al., 2002; Bertini & Tantiyanugulchai, 2004; Turochy & Smith, 2002). همچنین برخی از مطالعات به موضوع پیش‌بینی و برآورد ازدحام ترافیکی، در بازه‌ها و افق‌های زمانی متفاوت پرداخته‌اند (Ito & Kaneyasu, 2017). برخی محققان دیگر نیز، در مطالعات خود به روش‌های کاهش ازدحام در نواحی شهری اشاره کرده‌اند (Cipriani et al., 2018; Levine & Garb, 2002).

در ضمن تحلیل داده‌های مکانی و از جمله بسیاری از پارامترهای ترافیکی (مانند زمان سفر، سرعت و ازدحام ترافیکی)، در بررسی سطوح یا موقعیت‌های مکانی که در مجاورت یا همسایگی هم قرار می‌گیرند، ویژگی‌های مشترکی دیده می‌شود؛ به طوری که مقادیر یک متغیر در یک موقعیت، با مقادیر همان متغیر در موقعیت‌های مجاور، همبستگی نشان می‌دهد (Getis, 2008). شاخص‌های آماری گوناگونی همچون Geary C و Moran's I و Getis Ord به‌منظور ارزیابی وجود یا

1. Hot Spot
2. Geographically Temporally Weighted Regression

پوششی نقشه‌های ترافیکی برای شناسایی خوشه‌های ترافیکی پردازدهام در سطح شبکه، با سطح اطمینان ۹۰٪ (آن نواحی که در ۹۰٪ زمان‌های مورد مطالعه، ازدحام ترافیکی داشته‌اند) درمورد بازه‌های زمانی اوج صبح و اوج عصر نیز، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری، مطرح شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- استخراج تصاویر و آماده‌سازی داده‌های ازدحام ترافیکی

سرویس نقشه گوگل امکان نمایش شرایط ترافیکی فعلی و میانگینی از شرایط ترافیکی در بازه‌های زمانی گذشته را فراهم می‌کند؛ همچنین داده‌های تاریخچه ترافیکی روزها و ساعت‌های متفاوت هفته را در دسترس کاربران و توسعه‌دهندگان قرار می‌دهد و شرایط ترافیکی را در رزولوشن‌های گوناگون، در بازه‌های زمانی پانزده دقیقه، به روز می‌کند. این نقشه‌ها با رنگ‌های متفاوت کدگذاری می‌شوند که در این بین، پیکسل‌های سبز، نارنجی، قرمز و قرمز تیره روی شبکه معابر، به ترتیب وضعیت ترافیک روان، مورد قبول، کمی سنگین و سنگین را نشان می‌دهند. پیکسل‌های با رنگ قرمز و قرمز تیره اهمیت بسیاری دارند زیرا شرایط ترافیکی نامناسب (سرعت تردد اندک و زمان سفر طولانی) را بازتاب می‌دهند. با توجه به ماهیت پویای ازدحام ترافیکی و به‌منظور شناسایی نواحی‌ای که به‌طور مداوم با ازدحام ترافیکی مواجه‌اند، در پژوهش حاضر، نقشه‌های مرتبط با تاریخچه ازدحام ترافیکی (که در بازه‌های زمانی پانزده دقیقه به‌روز می‌شوند)، در کل روزهای هفته و در بازه زمانی مورد مطالعه (هفدهم فروردین تا هفدهم اردیبهشت ۱۳۹۸)، به مدت یک ماه جمع‌آوری شد. با این کار، ۹۶ تصویر در هر بازه ۲۴ ساعته شبانه‌روز به‌دست آمد. از آن‌جا که محدوده جغرافیایی نقشه تحت تأثیر رزولوشن صفحه‌نمایش و سطح بزرگ‌نمایی انتخاب‌شده برای نمایش آن تغییر

زمانی آن (Di et al., 2019; Song et al., 2019; Shariat Mohaymany & Shahri, 2020; Yu et al., 2020; Yang & Wang, 2020; Yang et al., 2019) پرداخته‌اند.

در مطالعه پیش رو، تهران، پایتخت ایران با جمعیتی بیش از نه میلیون نفر، بیست‌وپنجمین شهر پرجمعیت و بیست‌وهفتمین شهر بزرگ دنیا که بیش از ۲.۵ میلیون وسیله نقلیه از شبکه حمل‌ونقل آن استفاده می‌کنند، مورد مطالعه قرار گرفته است. طی سالیان گذشته، برنامه‌ریزان شهری راهکارهای گوناگونی را به‌منظور حذف یا کاهش تأثیرات ازدحام ترافیکی، در منطقه مطالعاتی، مطرح کرده‌اند. برای نمونه، می‌توان به پیشنهاد محدوده‌های طرح ترافیک و طرح کنترل آلودگی هوا اشاره کرد. در این پژوهش، علاوه‌بر نوع خاصی از کلان‌داده‌ها شامل تصاویر ترافیکی به‌دست‌آمده از سرویس نقشه گوگل، تحلیل‌های مکانی-زمانی با هدف ارزیابی عملکرد شبکه حمل‌ونقل در مقیاس کل منطقه مطالعاتی، معرفی شده است. در گام نخست، پس از دریافت تصاویر ترافیکی در بازه زمانی پیوسته یک‌ماهه‌ای (هفدهم فروردین تا هفدهم اردیبهشت ۱۳۹۸)، شاخص ازدحام ترافیکی (CI)<sup>۱</sup> محاسبه شد و مقادیر به‌دست‌آمده به مرکز نواحی شهر تهران تخصیص یافت. مطابق با تحلیل‌های توصیفی، روند تغییرات ازدحام در یک محدوده زمانی مشخص در سطح منطقه مطالعاتی، بررسی و بازه زمانی اوج، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری، استخراج شد. سپس وجود/فقدان خوشه‌های مکانی مرتبط با مقادیر ازدحام ترافیکی، با استفاده از شاخص Getis Ord، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری ارزیابی شد و نواحی با مقادیر بالای ازدحام ترافیکی مورد تحلیل قرار گرفت. در گام بعد، آزمون کروسکال-والیس به‌منزله آزمونی ناپارامتری و به‌منظور ارزیابی وجود/فقدان معنی‌دار در مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی در برش‌های زمانی مورد نظر (در یک ماه زمان مطالعه و طی چهار هفته متوالی)، به کار رفت. همچنین نخستین بار، تحلیل

### 1. Congestion Inde

رنگ‌ها و تمایز پیکسل‌های معرف ازدحام ترافیکی از سایر پیکسل‌ها با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر، در ابتدا، اطلاعات رنگ به داده‌های رقومی تبدیل شد و در نهایت، هر پیکسل براساس دامنه تغییرات باند قرمز، سبز و آبی در مکعب رنگ‌های اصلی، متناسب با رنگ‌های نمایش داده‌شده در تصاویر گوگل، برچسب‌گذاری شد و پیکسل‌های قرمز که معرف ازدحام ترافیکی اند مشخص شدند (شکل ۲). این روند درمورد تمامی تصاویر دریافتی در بازه‌های پانزده دقیقه‌ای، در هر یک از روزهای هفته و کل بازه زمانی مورد مطالعه، تکرار شد.

با توجه به هدف این پژوهش مبنی بر بررسی ازدحام ترافیکی در سطح یک کلان‌شهر، تحلیل داده‌ها در قالب مدل‌های هم‌افزون<sup>۱</sup> صورت گرفت. مدل‌های هم‌افزون به نوعی از مدل‌سازی اطلاق می‌شود که در آنها داده‌ها، در سطح نواحی مشخص و تعریف‌شده‌ای تجمیع می‌شوند. با اینکه انتخاب نوع واحد مطالعاتی، تا حد زیادی به هدف مطالعه مرتبط است، در هر صورت، واحدها معمولاً همگن انتخاب می‌شوند. در نهایت،

می‌کند، به‌منظور استخراج تصاویر مورد نیاز این پژوهش، از سرویس نقشه گوگل با بزرگ‌نمایی ۱۵ استفاده شده است. در این مقیاس، نه‌تنها کل شهر تهران در یک نما زیر پوشش قرار می‌گیرد بلکه تمامی معابر بزرگراهی و اصلی منطقه مطالعاتی که در مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل دارای اهمیت است نیز رؤیت می‌شود (شکل ۱). با توجه به حجم زیاد تصاویر، برای دریافت داده‌های ترافیکی، از فرایند کدنویسی استفاده شد و به این ترتیب، در هر پانزده دقیقه یک تصویر از وضعیت ترافیکی به‌روزشده شبکه معابر تهران، با ابعاد ۱۶۰۱×۲۷۹۸ دریافت و روی یک سرور ذخیره شد.

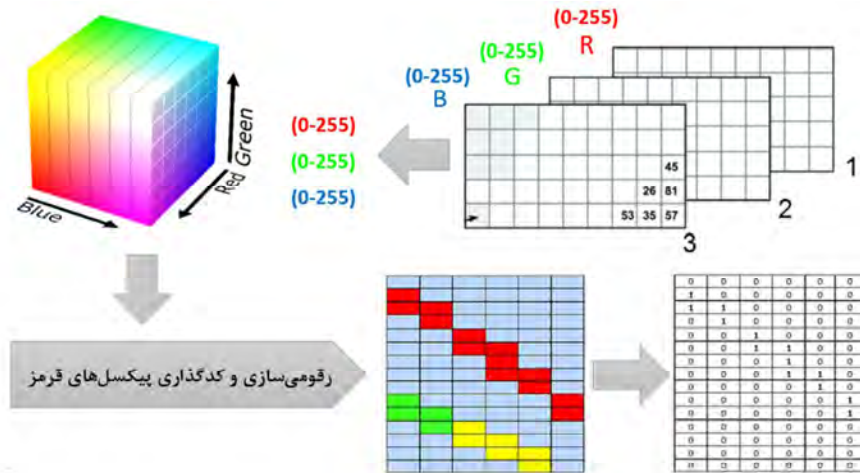
## ۲-۲- شناسایی نواحی پر ازدحام و محاسبه شاخص ازدحام

تصاویر دریافتی از سرویس نقشه گوگل ماهیت رستری دارند که ترکیبی از سه باند قرمز، آبی و سبزند و هر یک در دامنه بین ۰-۲۵۵ تغییر می‌کند و از این‌رو ترکیب درجات متفاوت آنها معرف همان کد رنگی است که در تصاویر گوگل نمایش داده می‌شود. به‌منظور استخراج



شکل ۱. نمایی از محدوده مطالعاتی، محدوده طرح ترافیک و کنترل آلودگی هوا در شهر تهران

### 1. Aggregate



شکل ۲. روند فرایند رقومی سازی و استخراج پیکسل‌های معرف ازدحام ترافیکی



شکل ۳. روند نمای پژوهش

مقادیر متغیر مورد بررسی در سطح نواحی تجمیع می‌شود و به مرکز ناحیه تخصیص خواهد یافت. در پژوهش حاضر، متغیر مورد بررسی شاخص ازدحام ترافیکی است که به صورت درصد پیکسل‌های قرمز (نسبت تعداد پیکسل‌های قرمز به کل پیکسل‌ها در هر ناحیه) در بازه‌های زمانی پانزده دقیقه‌ای محاسبه می‌شود. تحلیل‌های پانزده دقیقه‌ای برای شناسایی شدت ازدحام نواحی لازم است ولی از آن جاکه تداوم زمانی نیز، در تحلیل ازدحام ترافیکی پارامتر مهمی به‌شمار می‌رود، تحلیل در بازه‌های زمانی فراتر از پانزده دقیقه (مثلاً بازه‌های یک‌ساعته) نتایج منطقی‌تری در پی خواهد داشت. بدین منظور مقادیر ازدحام ترافیکی پانزده دقیقه‌ای، ضمن بازه‌های یک‌ساعته در کل ۲۴ ساعت شبانه‌روز، میانگین‌گیری شد. براساس تقسیم‌بندی صورت‌گرفته از سوی مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران با تکیه بر مطالعات طرح جامع، تعداد مناطق شهری پایتخت ۲۲ منطقه و تعداد نواحی داخلی ۱۱۷ ناحیه است. بنابراین مقدار شاخص ازدحام ترافیکی محاسبه‌شده در بازه‌های یک‌ساعته، پس از تجمیع در سطح نواحی ۱۱۷ گانه، به مرکز ناحیه مورد نظر تخصیص یافت. فلوجارت و روندنمای پژوهش در شکل ۳ نمایش داده شده است.

### ۳- روش شناسی

#### ۳-۱- تحلیل‌های همبستگی مکانی و زمانی خوشه‌های ازدحام ترافیکی

همان‌گونه که بیان شد، تحلیل‌های همبستگی مکانی به‌منظور شناسایی الگوهای مکانی و نمایش تمرکز خوشه‌های به‌هم‌پیوسته ازدحام ترافیکی در بخش‌های متفاوت منطقه مطالعاتی به‌کار می‌روند. این پدیده با شاخص‌های آماری گوناگونی ارزیابی می‌شود که مبنای همه این شاخص‌ها مدل کردن ارتباطات محلی، مانند مجاورت‌ها یا همسایگی‌هاست و از طریق تعریف یک ماتریس مجاورت یا ماتریس وزن مکانی به‌دست می‌آید. در بین شاخص‌های ارزیابی وجود/ فقدان خوشه‌های مکانی، Getis- Ord (شاخص G) یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها به‌شمار می‌رود که معادله شاخص کلی<sup>۱</sup> براساس رابطه (۱) حاصل می‌شود.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \quad \forall j \neq i \quad (1)$$

در این معادله،  $x_i$  و  $x_j$  مقادیر متغیر مورد نظر در نواحی  $i$  و  $j$  هستند.  $W_{ij}$  ماتریس وزن مکانی بین ناحیه  $i$  و نواحی اطراف مانند  $j$  است که براساس نحوه تأثیرگذاری موقعیت‌ها در موقعیت  $i$  تعریف می‌شود.

$n$  نیز تعداد کل داده‌های موجود در پایگاه داده است. نتایج حاصل از رابطه (۱) با تکیه بر یک فرض صفر، مبنی بر وجود الگویی تصادفی در رویدادهای مشاهده‌شده، تفسیر می‌شود. اگر نتایج آزمون‌های آماری فرض صفر را رد کند، همبستگی مکانی معنی‌دار خواهد بود. به‌منظور ارزیابی معنی‌داری، از یک توزیع مرجع نرمال (نمایانگر فرض صفر که همان الگوی تصادفی رویدادهاست) استفاده می‌شود که میانگین و انحراف معیار آن، براساس یک روند جایگشت تصادفی<sup>۲</sup> در سطوح اطمینان متفاوت، محاسبه می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص  $G$  از مشاهدات، با توجه به رابطه (۲) با توزیع مرجع مقایسه می‌شود و پارامتر  $Z$  طبق این معادله به‌دست می‌آید.

$$Z_G = \frac{G - G_E}{SD_{GE}} \quad (2)$$

در این معادله،  $G$  مقدار مشاهداتی شاخص (مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۱))،  $G_E$  مقدار انتظاری (میانگین) و  $SD_{GE}$  انحراف معیار به‌دست‌آمده از توزیع مرجع است (Getis, 2008). هرچه مقدار  $G$  محاسبه‌شده از مقدار متوسط مورد انتظار بیشتر باشد، به این معنی است که مقادیر بالاتر متغیر مورد نظر اغلب در کنار هم دیده شده‌اند (Hot Spot) و مقادیر پایین‌تر  $G$  به آن مفهوم است که مقادیر پایین‌تر متغیر در کنار هم یافت شده‌اند (Cold Spot).

آماره  $G$  کلی که با رابطه (۱) نمایش داده شده، تنها معیاری است مبنی بر اینکه آیا به‌طور کلی خوشه‌های مکانی در الگوی رویدادها وجود دارد یا خیر؛ اما هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره موقعیت تمرکز خوشه‌های با مقادیر بالا یا پایین در نواحی متفاوت منطقه مطالعاتی، در اختیار ما قرار نمی‌دهد. بنابراین، برای مواجهه با این مسئله، شاخص  $G$  محلی<sup>۳</sup> به‌کار می‌رود (برای هر ناحیه یا موقعیت، مانند  $i$ ) و بدین‌صورت تعریف می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n W_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{ij})^2}{n-1}}} \quad (3)$$

در این معادله،

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \text{و} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

با توجه به نحوه محاسبه شاخص  $G$  محلی و مقادیر انحصاری به‌دست‌آمده برای هر واحد مطالعاتی (i)، می‌توان تغییرات ناگهانی الگوهای مکانی را که به شناسایی داده‌های پرت<sup>۴</sup> نیز منجر می‌شود، بررسی کرد. در این مطالعه، میانگین مقدار شاخص ازدحام ترافیکی در کل بازه زمانی مورد مطالعه (یک ماه) به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری، متغیر مورد بررسی در شاخص  $G$  در نظر گرفته شده است.

1. Global
2. Permutation
3. Local
4. Outliers

## ۴- نتایج و بحث

همان‌گونه که بیان شد، تصاویر ترافیکی در بازه زمانی مورد نظر (۱۳۹۸/۱/۱۷-۱۳۹۸/۲/۱۷) به مدت تقریباً چهار هفته (یک ماه) گرد آمد و پس از پردازش‌های اولیه و رقوم‌سازی، مقادیر ازدحام ترافیکی به دست آمده مطابق آنچه اشاره کردیم، در سطح نواحی ۱۱۷ گانه شهر تهران تجمیع شد. همچنین با توجه به اینکه الگوی سفر افراد و در نتیجه، ازدحام ترافیکی به دلیل تفاوت اهداف سفر در روزهای گوناگون، تفاوت معنی داری را نشان می‌دهد، تحلیل ازدحام به تفکیک روزهای کاری و غیر کاری صورت گرفت. در بخش اول، نتایج حاصل از اعتبارسنجی داده‌های استخراج شده از تصاویر سرویس نقشه گوگل با روش میدانی آورده شده است. در گام بعد، تحلیل‌های توصیفی روی داده‌های ازدحام ترافیکی صورت گرفته و براساس آن، بازه‌های زمانی اوج منطقه مطالعاتی استخراج شده است. سپس نتایج تحلیل‌های مکانی و زمانی، طبق ارزیابی آزمون‌های آماری که همبستگی زمانی و مکانی بین مقادیر ازدحام ترافیکی را تأیید می‌کند، ارائه شده است. در نهایت، نقشه‌های هم‌پوشانی مکانی در سطح اطمینان ۹۰٪، براساس بازه‌های اوج به دست آمده از تحلیل‌های توصیفی به تفکیک روزهای کاری و غیر کاری، نمایش داده شده و مورد بحث قرار گرفته است.

## ۴-۱- نتایج اعتبارسنجی داده‌های جمع‌آوری شده

طبق مطالب بیان شده، داده‌های ازدحام ترافیکی حاصل از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل می‌توانند منعکس‌کننده وضعیت ترافیکی معبر مورد نظر باشند که با کدهای رنگی متفاوت، نمایش داده می‌شوند. از طرفی، مطابق با الگوریتم گوگل، هریک از این کدهای رنگی براساس میانگین سرعت خودروها و در نتیجه، میانگین زمان سفر در مقطع پیموده شده، محاسبه می‌شود. زمان سفر به دست آمده، در این شرایط، معرف شاخص زمان سفر (TTI)<sup>۲</sup> است که نسبتی از زمان سفر

در بخش تحلیل‌های زمانی، کل بازه زمانی مورد مطالعه به چهار برش زمانی یک‌هفته‌ای افزاز شده و میزان همبستگی بین مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی برش‌های زمانی گوناگون، با استفاده از آزمون آماری و به تفکیک روزهای کاری و غیر کاری، ارزیابی شده است. آزمون آماری مورد استفاده آزمون کروسکال-والیس است که به منزله آزمونی ناپارامتری، برای ارزیابی وجود فقدان تفاوت معنی دار در مقادیر میانگین نمونه‌های مورد آزمون (میانگین ازدحام ترافیکی در برش‌های زمانی یک‌هفته‌ای، به تفکیک روزهای کاری و غیر کاری) به کار رفته است. این آزمون آماری فرض‌های اولیه‌ای را که در آزمون تحلیل واریانس (ANOVA)<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شود، مورد توجه قرار نمی‌دهد. از جمله این فرض‌ها می‌توان به یکسان بودن واریانس نمونه‌ها، داشتن دست کم بیست نمونه در هریک از گروه‌های مورد آزمون و نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها اشاره کرد. در صورتی که حداقل یکی از این فرض‌ها برآورده نشود، به منظور بررسی تفاوت‌ها از آزمون کروسکال-والیس استفاده می‌شود. بر این اساس، نرمال نبودن توزیع داده‌های ازدحام ترافیکی دلیل موجهی برای استفاده از آزمون یادشده در تحلیل همبستگی زمانی شمرده می‌شود. در این حالت، فرض صفر این آزمون آن است که بین مقادیر میانگین نمونه‌های مورد بررسی، تفاوت معنی داری وجود ندارد؛ در حالی که فرض مقابل تفاوت معنی دار دست کم یکی از نمونه‌ها را اثبات می‌کند. نتیجه این آزمون رد یا پذیرش فرض صفر را در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج تحلیل‌های توصیفی که در بخش نتایج بیان خواهد شد، روند تغییرات در روزهای کاری یک هفته یکسان است و از این رو مقادیر ازدحام ترافیکی، در کل روزهای کاری هفته (شنبه تا چهارشنبه)، میان‌گیری خواهد شد. این روند در مورد روزهای غیر کاری هم برقرار است و مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی، در روزهای غیر کاری (پنج‌شنبه و جمعه)، بررسی خواهد شد.

1. Analyses of Variance

1. Travel Time Index



به منظور تکمیل فرایند اعتبارسنجی مقادیر به دست آمده، به مقادیر زمان سفر واقعی نیز نیاز داریم. برای به دست آوردن آن، از روش میدانی استفاده شد تا داده‌های زمان سفر، در روزهای کاری نمونه و روزهای غیرکاری، برداشت شود. تعداد ده معبر نمونه از کل منطقه مطالعاتی، شامل معابر شریانی و آزادراهی که در تصاویر دریافتی اولیه نیز رؤیت می‌شدند، انتخاب شد. در مقیاس انتخاب شده برای دریافت تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل، نه تنها کل شهر تهران در یک نما پوشش داده می‌شود بلکه تمامی معابر بزرگراهی و اصلی منطقه مطالعاتی نیز، در این بزرگنمایی، مشاهده می‌شود. دو اکسپلورر آماربرداری، طی روزهای مشخص، به منطقه مطالعاتی اعزام شد و زمان سفر، در طول مشخصی از معبر مورد نظر در بازه زمانی اوج صبح (۹:۰۰-۷:۰۰ صبح) برداشت شد. در جدول ۲ و جدول ۳، فهرست معابر منتخب همراه با کیلومتر، زمان سفر استخراج شده از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل و زمان سفر مشاهده‌ای، با روش میدانی به تفکیک روز کاری نمونه و روز غیرکاری، نمایش داده شده است. میزان همبستگی مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر استخراج شده از تصاویر دریافتی از سرویس نقشه گوگل نیز به تفکیک، برای روزهای کاری و غیرکاری، در شکل ۴ و شکل ۵ نمایش داده شده است. همان گونه که از شکل پیداست، ضریب همبستگی بالا بین مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر استخراج شده (۰/۹۷ و ۰/۹۶، به ترتیب در مورد روزهای کاری و غیرکاری) بیانگر آن است که روش پیشنهادی با دقت مورد قبول می‌تواند نمایانگر زمان سفر واقعی مقطع مورد نظر باشد.

واقعی (در شرایط ازدحام و در شرایط واقعی) به زمان سفر آزاد (با فرض اینکه هر خودرو، بدون حضور سایر وسایل نقلیه دیگر، بتواند طول مشخصی از شبکه حمل و نقل را طی کند) به شمار می‌رود و میزان متوسط مدت زمان اضافی را که برای سفر مورد نیاز است، به نسبت زمان سفر آزاد، نشان می‌دهد. برای نمونه، شاخص زمان سفر ۱/۲ به این مفهوم است که سفری سی دقیقه‌ای، در وضعیت تردد آزاد در بازه اوج ترافیک، ۳۶ دقیقه طول می‌کشد و یا به طور میانگین، در این سفر، ۲۰٪ تأخیر وجود خواهد داشت. با توجه به اینکه این شاخص هم شرایط ازدحام رایج و هم اثر رویدادها و تصادفات را در نظر می‌گیرد، معیاری از شرایط و وضعیت ترافیکی در اختیار قرار می‌دهد. پس از دریافت تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل از منطقه مطالعاتی که ماهیت رستری دارند، هریک از تصاویر را، پس از فرایند زمین مرجع شدن می‌توان به مقیاس زمینی تبدیل کرد؛ بنابراین هر پیکسل، با توجه به مقیاس زمینی آن، معرف طول مشخصی از شبکه معابر است. بدین ترتیب با در دست داشتن تعداد پیکسل‌های هر معبر از هر کد رنگی در هر بازه زمانی دلخواه (مثلاً پانزده دقیقه)، طول شبکه معابر بر طبق کدهای رنگی که معرف وضعیت ترافیکی آن هستند، قابل محاسبه خواهد بود. با محاسبه تعداد پیکسل‌ها و در نتیجه، مقادیر زمینی شبکه معابر از هر کد رنگی مشخص و با توجه به مشخص بودن میانگین سرعت نسبت داده شده به هر کد رنگی (جدول ۱)، می‌توان زمان سفر مجموع کدهای رنگی هر معبر را محاسبه کرد که زمان سفر معبر مورد نظر شمرده می‌شود. به این ترتیب، معیاری کمی برای ارزیابی مقادیر استخراج شده از تصاویر سرویس نقشه گوگل، به دست خواهد آمد.

جدول ۱. میانگین تغییرات سرعت سفر در سرویس نقشه گوگل، به ازای معابر شریانی و بزرگراهی

کد رنگی سرویس نقشه گوگل	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)	
	مقابر بزرگراهی	مقابر شریانی
سبز	۶۰	۴۵
نارنجی	۵۴	۲۰
قرمز	۲۰	۱۰
قرمز تیره	۴/۵	۴/۵

متین شهری و افشین شریعت مهمی

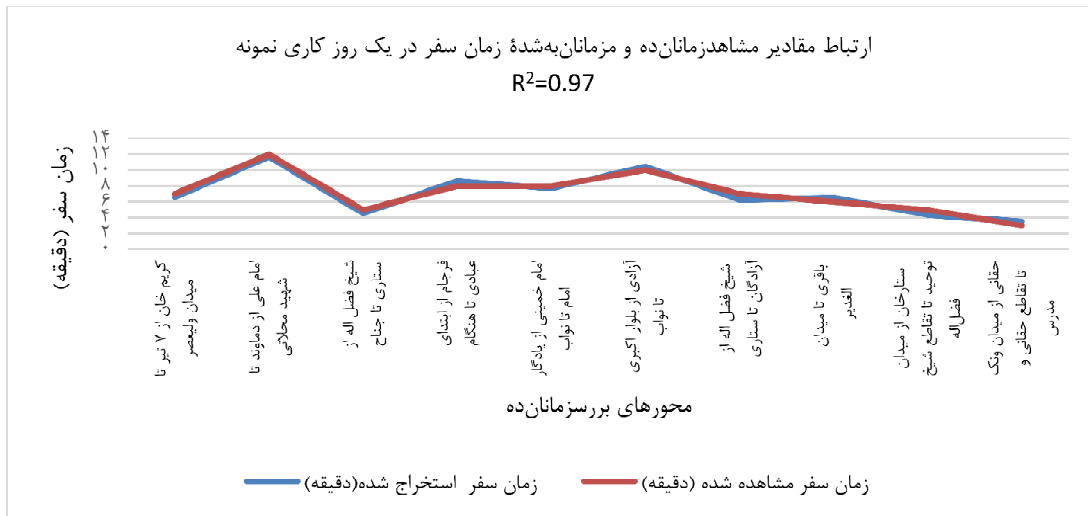
جدول ۲. فهرست معابر منتخب همراه با کیلومتر، زمان سفر استخراج شده از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل و زمان سفر مشاهده‌شده با روش میدانی، در روز کاری نمونه

		روز کاری			
معابر منتخب برای استخراج داده‌های زمان سفر	تاریخ برداشت میدانی	مسافت طی شده (کیلومتر)	زمان سفر استخراج شده (دقیقه)	زمان سفر مشاهده شده (دقیقه)	
A	کریم‌خان، از ۷ تیر تا میدان ولیعصر	۱/۷	۶/۸۷	7	
	حقانی، از میدان ونک تا تقاطع حقانی و مدرس	۰/۸۵	۳/۴۱	3	
	امام علی، از دماوند تا شهید محلاتی	4	۱۱/۶۶	12	
	فرجام، از ابتدای عبادی تا هنگام باقری تا میدان الغدیر	۱/۹	۸/۲۴	8	
B	کریم‌خان، از ۱۲ دی ماه ۱۴۰۰	۲/۳	۴/۷۳	5	
	حقانی، از ۱۲ دی ماه ۱۴۰۰	۴/۷	۶/۸۴	7	
	ستارخان، از ۱۲ دی ماه ۱۴۰۰	۲/۳	۴/۷۵	5	
	امام خمینی، از یادگار امام تا نواب آزادی، از بلوار اکبری تا نواب	۲/۱	۷/۸۹	8	
		۲/۷	۱۰/۱۷	10	

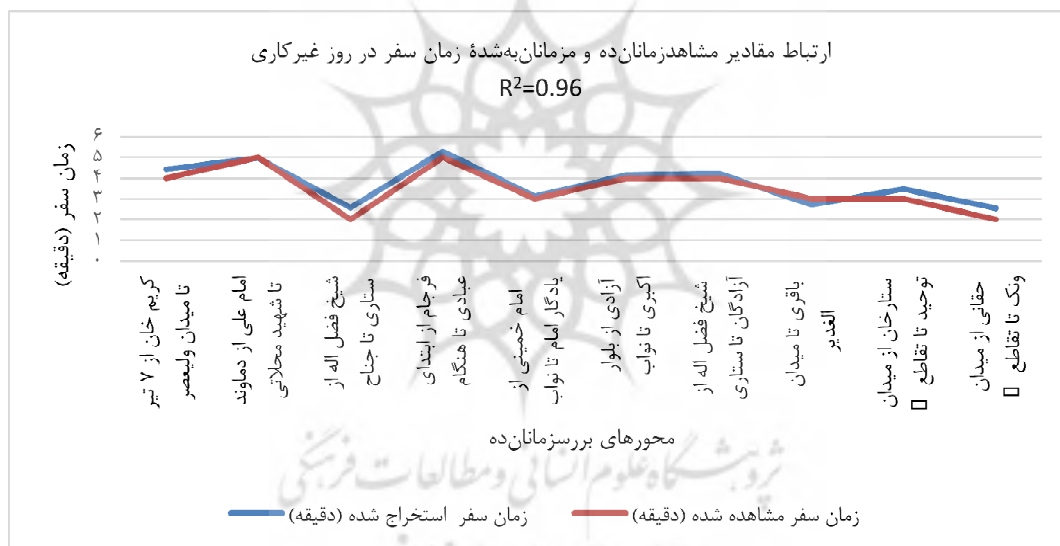
جدول ۳. فهرست معابر منتخب همراه با کیلومتر، زمان سفر استخراج شده از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل و زمان سفر مشاهده‌شده با روش میدانی، در روز غیرکاری

		روز جمعه			
معابر منتخب برای استخراج داده‌های زمان سفر	تاریخ برداشت میدانی	مسافت طی شده (کیلومتر)	زمان سفر استخراج شده (دقیقه)	زمان سفر مشاهده شده (دقیقه)	
A	کریم‌خان، از ۷ تیر تا میدان ولیعصر	۱/۷	۴/۰۳	4	
	حقانی، از میدان ونک تا تقاطع حقانی و مدرس	۴	۴/۹۷	5	
	امام علی، از دماوند تا شهید محلاتی	۲/۳	۲/۰۸	2	
	فرجام، از ابتدای عبادی تا هنگام باقری تا میدان الغدیر	۱/۹	۵/۱۹	5	
B	کریم‌خان، از ۹ دی ماه ۱۴۰۰	۲/۱	۳/۱۲	3	
	ستارخان، از ۹ دی ماه ۱۴۰۰	۲/۷	۴/۱۴	4	
	ستارخان، از ۹ دی ماه ۱۴۰۰	۴/۷	۴/۲۱	4	
	امام خمینی، از یادگار امام تا نواب آزادی، از بلوار اکبری تا نواب	۲/۱	۲/۸۲	3	
		۲/۳	۳/۰۷	3	
		۰/۸۵	۲/۲۴	2	

شناسایی الگوهای زمانی- مکانی ازدحام ترافیکی ...



شکل ۴. همبستگی بین مقادیر زمان سفر مشاهده‌شده به‌صورت میدانی و زمان سفر استخراج‌شده از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل، در روز کاری نمونه



شکل ۵. همبستگی بین مقادیر زمان سفر مشاهده‌شده به‌صورت میدانی و زمان سفر استخراج‌شده از تصاویر ترافیکی سرویس نقشه گوگل، در روز غیرکاری

شبکه معابر است و بنابراین با در دست داشتن تعداد پیکسل‌های هر ناحیه، طول شبکه معابر هر ناحیه را می‌توان محاسبه کرد. مطابق درصد نسبی پیکسل‌ها با کدهای رنگی مشخص و سرعت نسبت داده‌شده به هر کد رنگی نیز، یک مقدار میانگین سرعت برای هر ناحیه محاسبه می‌شود. همچنین طول کل شبکه، در هر ناحیه، مقدار ثابت و مشخصی است؛ به این ترتیب که برای ناحیه‌ای مشخص در بازه‌ای پانزده دقیقه‌ای،  $L1$  از شبکه

از سویی، در این پژوهش تحلیل‌ها به‌صورت هم‌افزون در سطح نواحی تعریف‌شده‌ای در سطح منطقه مطالعاتی انجام شده است و با توجه به این نکته، در پژوهش حاضر، شاخص ازدحام مورد استفاده نسبت مجموع تعداد پیکسل‌های قرمز و قرمز تیره به کل پیکسل‌های هر ناحیه، در هر بازه زمانی پانزده دقیقه‌ای، تعریف شده است. همان‌گونه که اشاره شد، هر پیکسل با توجه به مقیاس زمینی آن، معرف طول مشخصی از

تغییرات میانگین ازدحام در روزهای غیرکاری، در هر سه محدوده، مشابه روزهای کاری است؛ با این تفاوت که روند افزایش ازدحام، در روزهای غیرکاری، تقریباً از ساعت ۸ صبح (دیرتر از روزهای کاری) آغاز می‌شود و تقریباً در انتهای اوج عصر، میانگین ازدحام محدوده خارج از طرح نیز کمی بیشتر از دو محدوده دیگر می‌شود. مقایسه شکل ۶ و شکل ۷ نشان می‌دهد، در مورد روزهای کاری، می‌توان دو بازه زمانی اوج صبح و اوج عصر را شناسایی کرد (یک اوج تقریبی دوساعته در صبح، از ۷:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح و یک اوج تقریباً شش‌ساعته طی عصر، از ۱۶:۰۰ تا ۲۲:۰۰)؛ در صورتی که روند صعودی در بازه زمانی صبح، در روزهای غیرکاری، بازه اوج صبح مشخصی را نشان نمی‌دهد و این به دلیل حذف سفرهای آموزشی در این دوره زمانی است اما بازه زمانی اوج عصر همچنان اوج شش‌ساعته از ۱۶:۰۰ تا ۲۲:۰۰ را نشان می‌دهد. در بازه زمانی صبح، ازدحام ترافیکی با روندی نسبتاً ملایم‌تر از روزهای کاری افزایش می‌یابد. علاوه بر این در قیاس با روزهای کاری، شیب ملایم افزایش ازدحام ترافیکی در بازه‌های زمانی عصر نیز مشاهده می‌شود. در شکل ۶، طی روزهای کاری، تداوم زمانی ازدحام ترافیکی در زمان اوج صبح و اوج عصر تفاوت شایان توجهی را نشان می‌دهد که مهم‌ترین علت آن تفاوت در نوع و هدف سفرهای انجام‌شده در این دو بازه زمانی است. در اوج صبح طی بازه‌ای مشخص، ازدحام ترافیکی از ۷:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح، جهش و افزایش ناگهانی را نشان می‌دهد که علت آن هم‌زمان بودن آغاز کار بیشتر اداره‌ها و مدارس است و در ادامه، روند افزایشی ازدحام ترافیکی تا میانه روز ادامه می‌یابد. از طرف دیگر، در بازه زمانی اوج عصر، از ساعت ۱۵:۳۰ تا ۱۶:۰۰، ازدحام ترافیکی با روندی صعودی افزایش می‌یابد و تا زمان اتمام ساعت طرح، این روند صعودی ادامه دارد؛ سپس با شیئی آرام و به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. در محدوده طرح ترافیک و محدوده طرح کنترل آلودگی نیز، از ساعت ۱۹:۰۰ عصر (زمان پایان طرح) جهشی ناگهانی در ازدحام ترافیکی مشاهده می‌شود.

با رنگ سبز، L2/ از شبکه با رنگ نارنجی، L3/ از شبکه با رنگ قرمز و L4/ از شبکه با رنگ قرمز تیره نمایش داده می‌شود. بنابراین مقدار میانگین سرعت به دست آمده را می‌شود به راحتی به مقدار میانگین زمان سفر در آن ناحیه، تبدیل کرد. در نهایت، زمان سفر به صورت میانگین تعمیم‌پذیر به تمامی لینک‌های ناحیه نیز خواهد بود؛ از این رو با داشتن مقادیر متوسط سرعت و طول در هر کد رنگی، امکان محاسبه میانگین زمان سفر در هر ناحیه (نظیر j) نیز وجود دارد که میانگین ازدحام ترافیکی در هر ناحیه را معرفی می‌کند و تحلیل صورت گرفته در مقیاس ناحیه نیز معتبر است.

$$\sum_{i=1}^m L_i + \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^o L_i + \sum_{i=1}^p L_i$$

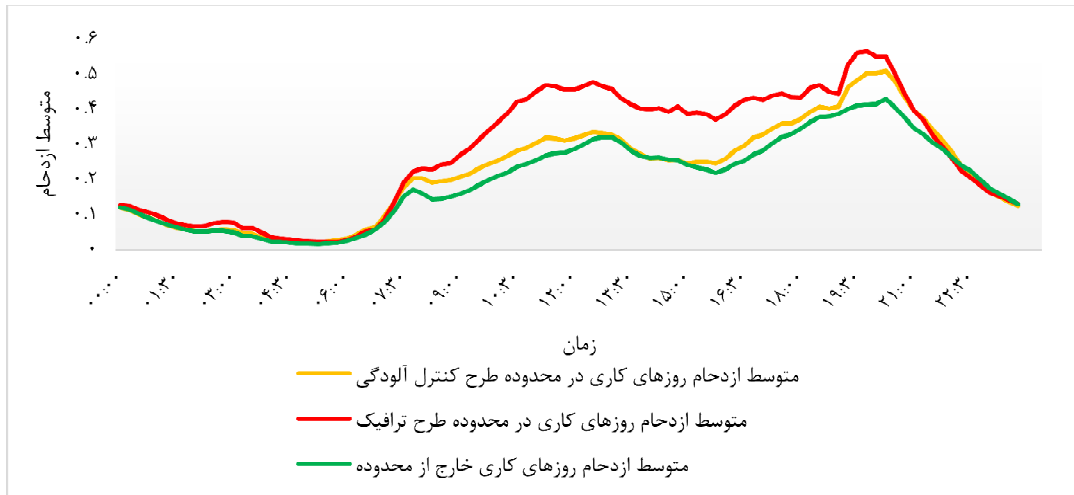
مجموع طول شبکه معابر در هر ناحیه

رابطه (۴)

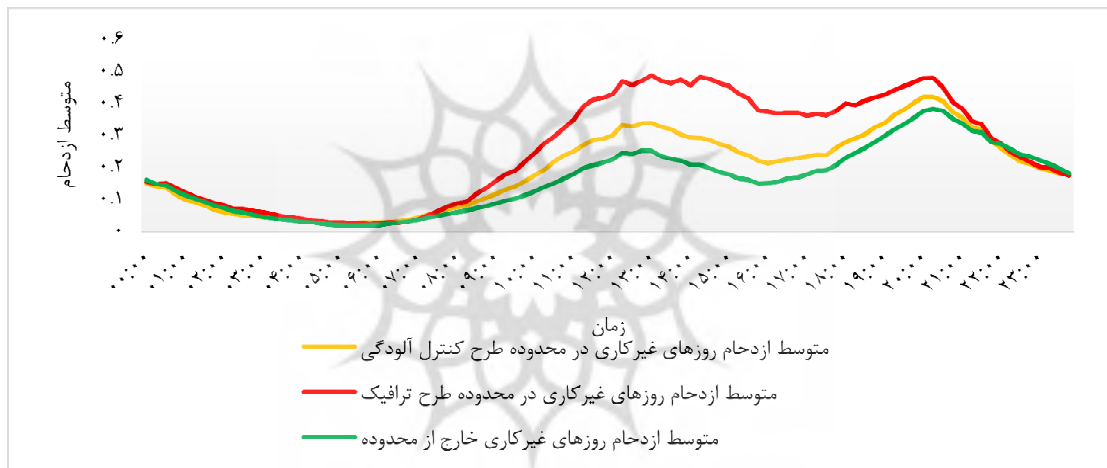
در این معادله، m، n، o و p به ترتیب، تعداد پیکسل‌ها در هر ناحیه با کد رنگی سبز، نارنجی، قرمز و قرمز تیره است.

#### ۴-۲- نتایج تحلیل‌های توصیفی

پس از استخراج اطلاعات مرتبط با ازدحام ترافیکی مطابق با آنچه بیان شد، روند تغییرات میانگین ازدحام در کل شبکه، در بازه‌های پانزده دقیقه‌ای در کل شبانه‌روز و در کل بازه زمانی مورد مطالعه (یک ماه)، به تفکیک برای روزهای کاری (میانگین شنبه تا چهارشنبه) و غیرکاری (میانگین پنج‌شنبه و جمعه) و در سه محدوده طرح ترافیک، طرح کنترل آلودگی و خارج از محدوده‌های کنترل بررسی و نمودارهای مرتبط استخراج شد. با توجه به شکل ۶، می‌توان نشان داد طی روزهای کاری، میانگین ازدحام ترافیکی در محدوده طرح، از ساعات اولیه اوج صبح (ساعت ۷ صبح) تا ساعات پایانی اوج عصر (ساعت ۲۲) بسیار بیشتر از سایر محدوده‌هاست؛ در حالی که میانگین ازدحام ترافیکی خارج از محدوده طرح کمتر از محدوده‌های دیگر است. در ساعات پایانی اوج عصر نیز، میانگین ازدحام هر سه محدوده بسیار به هم نزدیک می‌شود. با توجه به شکل ۷ نیز، می‌توان دریافت روند



شکل ۶. روند تغییرات مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی در کل بازه زمانی مورد مطالعه، طی روزهای غیر کاری



شکل ۷. روند تغییرات مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی در کل بازه زمانی مورد مطالعه، طی روزهای کاری

#### ۴-۳- نتایج تحلیل مکانی

نتایج بررسی وجود یا فقدان همبستگی مکانی در داده‌های مرتبط با میانگین ازدحام ترافیکی، در سطح نواحی ۱۱۷ گانه منطقه مطالعاتی، به تفکیک روزهای کاری و غیر کاری در کل بازه زمانی مورد مطالعه و با استفاده از شاخص تحلیل مکانی G عمومی، در جدول ۴ خلاصه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همبستگی مثبت و معنی‌دار مرتبط با مقادیر میانگین

ازدحام ترافیکی در کل منطقه مطالعاتی، طی روزهای کاری و غیر کاری، وجود دارد. بر این اساس، می‌توان دریافت به‌طور کلی مقادیر ازدحام ترافیکی در سطح نواحی مورد بررسی در منطقه مطالعاتی، هم در روزهای کاری و هم در روزهای غیر کاری، از الگویی خوشه‌ای و متمرکز پیروی می‌کند و می‌توان انتظار داشت که عوامل مکانی در وقوع ازدحام ترافیکی نقش مؤثری داشته باشند. همچنین در حوزه پیش‌بینی ازدحام ترافیکی، مدل‌های مکانی فرایند مدل‌سازی را بهبود می‌بخشند.

جدول ۴. مقادیر شاخص G عمومی برای ارزیابی وجود/ فقدان خوشه‌های مکانی در مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی

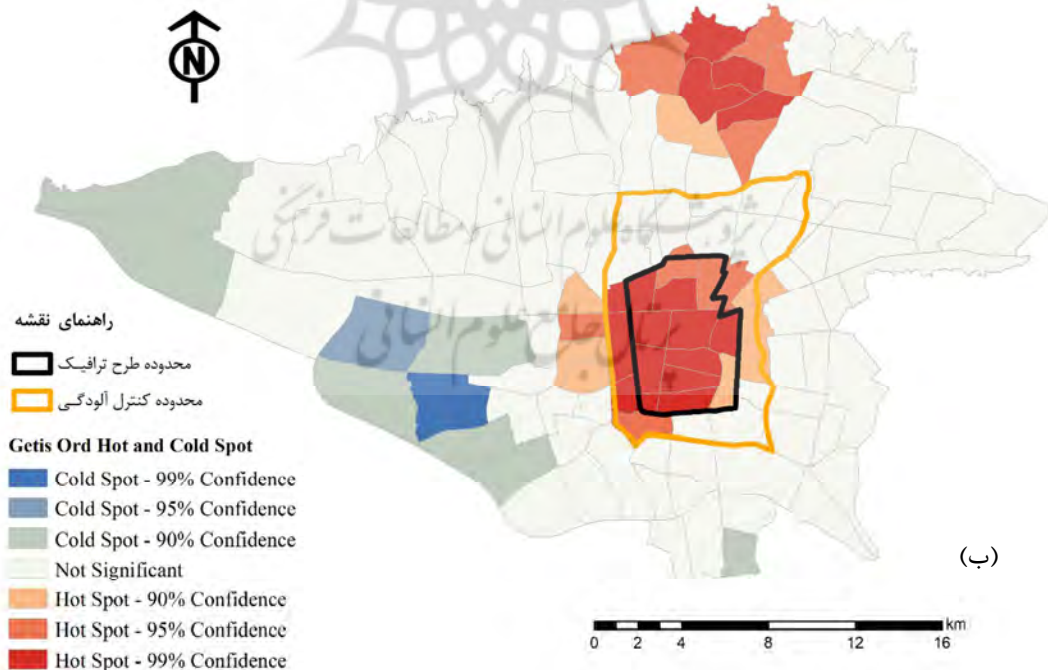
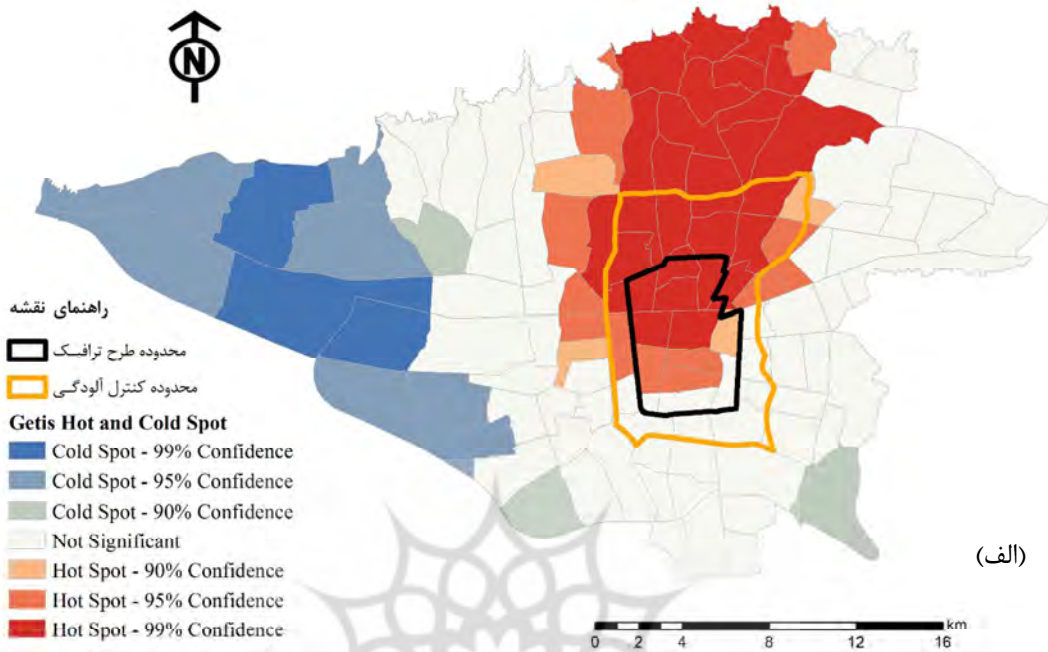
میانگین ازدحام ترافیکی	Getis Ord	z-Score	p-value
روزهای کاری	۰/۳۶	۲۸/۸	۰/۰۰
روزهای غیر کاری	/۲۹	۲۱/۴۲	۰/۰۰

نواحی اطراف آن و همچنین بخش‌هایی از قسمت‌های شمالی، نشان می‌دهد.

#### ۴-۴- نتایج تحلیل‌های زمانی

طبق آنچه بیان کردیم، ارزیابی این موضوع که مقادیر میانگین ازدحام ترافیکی، در برش‌های زمانی متفاوت (مقادیر میانگین هر چهار هفته، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری) تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهند یا خیر، با استفاده از آزمون آماری کروسکال-والیس انجام شده و نتایج در جدول ۵ و جدول ۶، به ترتیب برای روزهای کاری و غیرکاری، نمایش داده شده است. میانگین مقادیر ازدحام در روزهای کاری، در هر برش زمانی مورد نظر (یعنی هر هفته)، به صورت نمونه در نظر گرفته شده و بنابراین درمورد کل بازه زمانی مورد مطالعه، چهار کلاس نمونه خواهیم داشت. آزمون کروسکال-والیس نیز در پی بررسی وجود/نبود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر ازدحام در نمونه‌های مورد بررسی، طی چهار هفته مورد مطالعه است. اگر مقدار بحرانی برای معنی‌دار بودن نتایج، برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شود (سطح اطمینان ۰/۹۵)، مقادیر p-value بیشتر از مقدار بحرانی به تأیید فرض صفر، مبنی بر نبود تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها منجر می‌شود. با توجه به نتایج خلاصه شده در جدول ۵، فقدان تفاوت معنی‌دار بین میانگین مقادیر ازدحام ترافیکی روزهای کاری، در برش‌های زمانی مورد مطالعه، تأیید می‌شود. تحلیل مشابه، درمورد روزهای غیرکاری نیز، نتایج مشابهی دربر دارد (جدول ۶). به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت میانگین مقادیر ازدحام ترافیکی در منطقه مطالعاتی، از نظر زمانی، در کل بازه مورد مطالعه دارای همبستگی معنی‌دار است. این همبستگی می‌تواند، ضمن استخراج روند کلی، در پیشنهاد مدل‌های مبتنی بر سری زمانی به منظور اهداف پیش‌بینی کوتاه‌مدت ازدحام ترافیکی، مؤثر باشد.

طبق مطالب بیان شده، نتایج شاخص G کلی فقط معیاری در زمینه وجود/فقدان خوشه‌های مکانی به دست می‌دهد و درباره موقعیت تمرکز نواحی دارای ازدحام بالا، اطلاعاتی در اختیار تحلیل‌گر نمی‌گذارد و بنابراین، برای به دست آوردن این اطلاعات، شاخص‌های محلی به کار می‌روند. نتایج اجرای این شاخص تولید نقشه‌های نمایش داده شده در شکل ۸ است که امکان تقسیم منطقه مطالعاتی به نواحی متفاوت منطبق بر خوشه‌های مکانی و استخراج نواحی پرت را فراهم می‌کند. بر این اساس، آن نواحی که در نقشه با برچسب Hot Spot مشخص شده‌اند مشخص‌کننده نواحی دارای مقادیر بالای ازدحام ترافیکی‌اند. این مناطق در بین نواحی‌ای محصور شده‌اند که میانگین وزن‌دار ازدحام ترافیکی آنها، در بازه زمانی مورد مطالعه نیز، عدد بالایی است. در مقابل، نواحی دارای برچسب Cold Spot مشخص‌کننده نواحی با مقادیر پایین ازدحام ترافیکی‌اند و در بین نواحی‌ای محصور شده‌اند که میانگین وزن‌دار ازدحام ترافیکی در آنها نیز عدد پایینی است. بدیهی است که با توجه به اهمیت متغیر مورد بررسی، صرفاً نواحی قرارگرفته در دسته اول، با برچسب Spot Hot، مورد توجه مدیران شبکه حمل‌ونقل است و برای کاهش تأثیر ازدحام ترافیکی، باید بر آنها تمرکز ویژه داشت. براساس شکل ۸، می‌توان دریافت که الگوی تغییرات میانگین ازدحام ترافیکی روزهای کاری و غیرکاری روند مشخصی را نشان می‌دهد. درمورد روزهای کاری (شکل ۸-الف)، می‌توان الگوی مشخصی از تمرکز نواحی دارای ازدحام ترافیکی بالا را در الگوی پیوسته از منطقه مرکزی منطقه مطالعاتی، با هم‌پوشانی محدوده طرح ترافیکی و اطراف آن تا بخش‌هایی از نواحی شمالی، استخراج کرد. تحلیل مشابه درمورد روزهای غیرکاری (شکل ۸-ب) تمرکز نواحی دارای ازدحام بالا را در دو بخش مجزای متمرکز در قسمت‌های مرکزی شهر، شامل محدوده طرح ترافیک و



شکل ۸. وجود/ فقدان خوشه‌بندی مکانی میانگین ازدحام ترافیکی در کل بازه زمانی مورد مطالعه (الف) در روزهای کاری (ب) روزهای غیر کاری

## متین شهری و افشین شریعت مهمی

جدول ۵. نتایج معنی‌داری آزمون آماری کروسکال-والیس برای بررسی وجود/فقدان تغییرات معنی‌دار در میانگین میزان ازدحام ترافیکی روزهای کاری، در کل بازه زمانی مورد مطالعه

p-values of Kruscal Wallis Test				
برش زمانی	W1	W2	W3	W4
W1	۱	۰/۴۳	۰/۰۵	۰/۰۷
W2	۰/۴۳	۱	۰/۲۵	۰/۳۱
W3	۰/۰۵	۰/۲۵	۱	۰/۹۱
W4	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۹۱	۱

Wi: بردار میانگین ازدحام ترافیکی در روزهای کاری هفته آم

جدول ۶. نتایج معنی‌داری آزمون آماری کروسکال-والیس برای بررسی وجود/فقدان تغییرات معنی‌دار در میانگین میزان ازدحام ترافیکی روزهای غیرکاری، در کل بازه زمانی مورد مطالعه

p-values of Kruscal Wallis Test				
برش زمانی	W1	W2	W3	W4
W1	1	۰/۷۸	۰/۳۶	۰/۳۹
W2	۰/۷۸	1	۰/۵۲	۰/۵۶
W3	۰/۳۶	۰/۵۲	1	۰/۹۶
W4	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۹۶	1

Wi: بردار میانگین ازدحام ترافیکی در روزهای غیرکاری هفته آم

### ۴-۵- تحلیل پوششی نقشه‌های ازدحام ترافیکی در

#### سطح اطمینان ۹۰٪

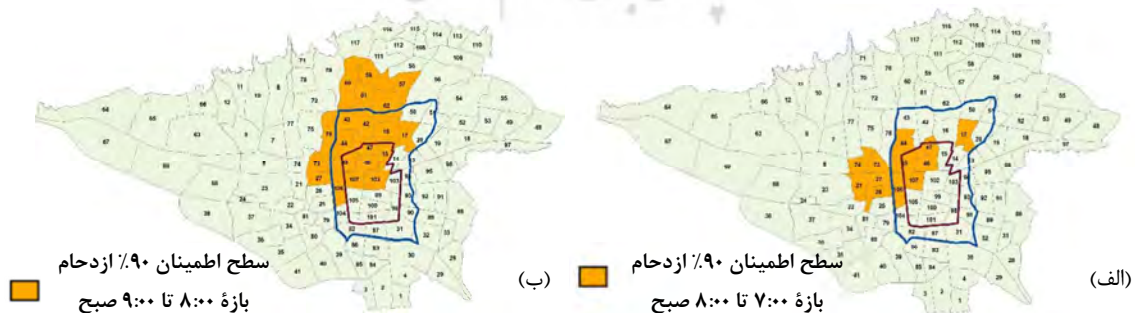
به دلیل ماهیت پویای ازدحام ترافیکی، انتظار می‌رود تمرکز خوشه‌های مکانی ازدحام ترافیکی، در بخش‌های گوناگون منطقه مطالعاتی طی بازه‌های زمانی متفاوت، دارای تفاوت باشد؛ از این رو در این بخش، تحلیل نقشه‌های پوششی به منظور استخراج نقشه‌های قابلیت اطمینان مکانی ازدحام ترافیکی، بررسی شده است. هدف از این تحلیل استخراج نواحی و بخش‌هایی از منطقه مطالعاتی است که در ۹۰٪ مواقع طی بازه زمانی مشخصی (برای نمونه، اوج صبح)، به صورت مداوم با ازدحام ترافیکی مواجه‌اند. همان گونه که در نتایج تحلیل‌های توصیفی اشاره شد، ازدحام ترافیکی طی روزهای کاری، یک اوج تقریبی دوساعته در صبح از ۷:۰۰ تا ۹:۰۰ و یک اوج تقریباً شش‌ساعته در عصر، از ۱۶:۰۰ تا ۲۲:۰۰ را نشان می‌دهد. به منظور استخراج نواحی‌ای که در ۹۰٪ مواقع دچار ازدحام ترافیکی‌اند،

نقشه‌های همبستگی مکانی در زمینه میانگین ازدحام ترافیکی، طی بازه‌های یک‌ساعته اوج صبح (در کل بازه دوساعته اوج از ۷:۰۰ تا ۹:۰۰) و اوج بعدازظهر (بازه شش‌ساعته از ۱۶:۰۰-۲۲:۰۰) برای کل روزهای مورد مطالعه استخراج شد که در آن روزهای کاری و غیرکاری تفکیک شده بود. به این ترتیب، با استفاده از شاخص G محلی در مرحله قبل، به ازای هر بازه زمانی یک‌ساعته در کل زمان اوج صبح و اوج عصر، تعداد ۱۹۲۰ (به ازای ۹۶ تصویر برای پنج روز کاری طی چهار هفته) و ۷۶۸ (به ازای ۹۶ تصویر برای دو روز غیرکاری طی چهار هفته) نقشه مرتبط با همبستگی مکانی ازدحام ترافیکی تولید شد. سپس، با استفاده از تحلیل‌های مکانی هم‌پوشانی، بخش‌هایی از منطقه مطالعاتی که در ۹۰٪ مواقع ازدحام بالایی را نشان می‌دهند، استخراج شد. شکل ۹ نشان‌دهنده نقشه‌های مرتبط با سطوح اطمینان ۹۰٪ ازدحام ترافیکی روزهای کاری در اوج صبح است. همان گونه که بیان کردیم،



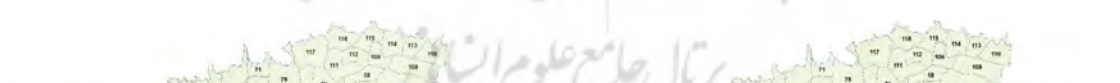
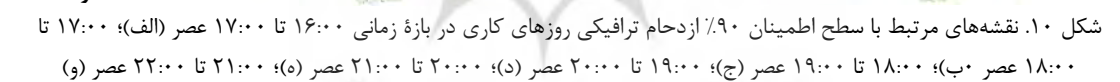
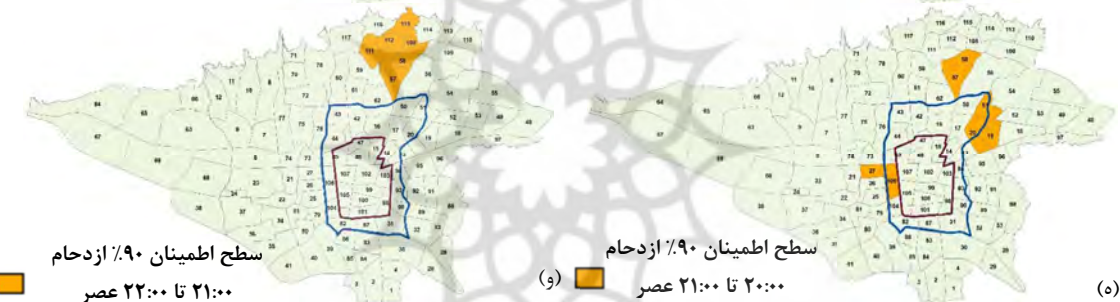
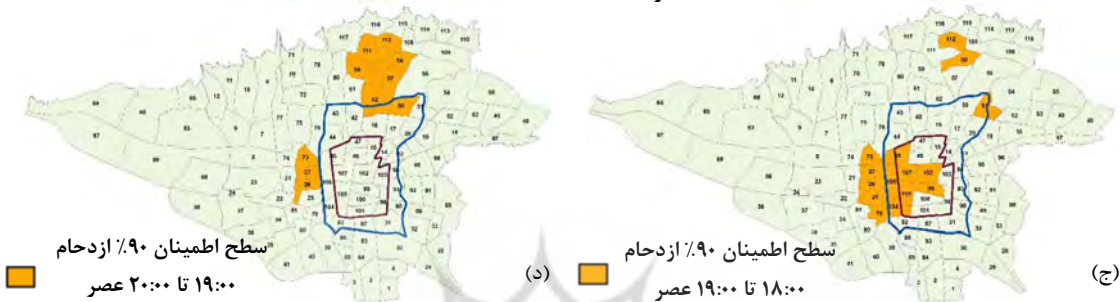
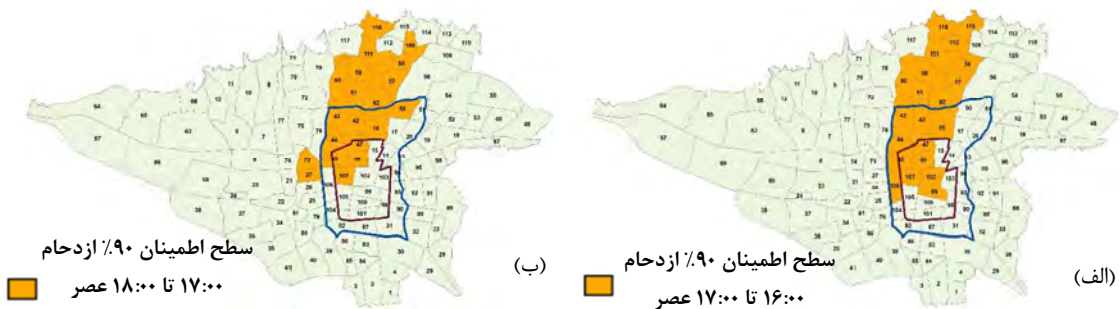
با این حال احتمال تغییرات محلی در بخش‌هایی خاص از منطقه مطالعاتی وجود دارد و به همین علت، تحلیل سطرهای پیشین در مورد بازه ۷:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح نیز انجام شد و نتایج نشان داد هیچ‌یک از نواحی منطقه مطالعاتی را نمی‌توان یافت که در بازه زمانی یادشده و در کل بازه زمانی مورد مطالعه، طی ۹۰٪ مواقع، با ازدحام ترافیکی زیادی مواجه باشند (شکل ۱۱). در مقابل در اوج عصر، به‌ویژه طی بازه زمانی ۱۹:۰۰ تا ۲۰:۰۰، ازدحام ترافیکی تمرکز شایان توجهی در داخل محدوده طرح نشان می‌دهد (شکل ۱۲)؛ در حالی که طی بازه زمانی ۲۰:۰۰ تا ۲۲:۰۰، در بخش شمالی منطقه مطالعاتی و با تمرکز کاربری‌های تفریحی خاص، الگوی مشخصی از نواحی دارای ازدحام زیاد مشاهده می‌شود. بر مبنای نتایج تحلیل سطرهای پیشین، می‌توان نواحی دارای اولویت بیشتر برای اجرای سیاست‌هایی در زمینه مدیریت ترافیک را در بازه‌های زمانی خاص (اوج صبح و اوج بعدازظهر) و به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری، مشخص کرد. شایان توضیح است، با توجه به امکان در دست بودن منابع داده مرتبط با چنین تحلیل‌هایی که روند تغییرات زمانی- مکانی را به صورت پیوسته در اختیار قرار می‌دهند، می‌توان از ویژگی‌های تحلیل مشابه برای هریک از بازه‌های زمانی روز (غیر از بازه‌های اوج و عصر) نیز بهره برد. با وجود این، از آن جاکه بسیاری از مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل بر اساس بازه‌های اوج انجام می‌شود، این بازه اهمیت دوچندان دارد.

نواحی رنگی بخش‌هایی از منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهند که در ۹۰٪ مواقع، در اوج صبح در بازه‌های زمانی ۷:۰۰ تا ۸:۰۰ و ۸:۰۰ تا ۹:۰۰، دچار ازدحام ترافیکی بالایی بوده‌اند. این نواحی با بخش‌هایی منطبق‌اند که در نقشه‌های تولیدشده با استفاده از شاخص G محلی در قسمت قبل، در ۹۰٪ از بازه‌های زمانی مورد بررسی، با برچسب Hot Spot مشخص شده‌اند و به عبارتی، ازدحام ترافیکی در این نواحی، طی ۹۰٪ مواقع، تداوم داشته است. نقشه‌های پوششی برای اوج عصر نیز در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. مشخص است که در کل بازه ۱۶:۰۰ تا ۱۹:۰۰ عصر و طی بازه‌های یک‌ساعته در ۹۰٪ مواقع، ازدحام ترافیکی در نواحی مرکزی تا شمال منطقه مطالعاتی تداوم دارد. تقریباً پس از پایان ساعت طرح (ساعت ۱۹)، در ۹۰٪ مواقع، ازدحام نواحی اطراف محدوده طرح بیشتر شده و به تدریج با نزدیک شدن به انتهای بازه اوج عصر، تمرکز نواحی دارای ازدحام بالا از اطراف محدوده طرح فاصله گرفته و به نواحی شمالی منتقل شده است که با نواحی دارای کاربری‌های تفریحی در سطح شهر تهران منطبق‌اند. همچنین تحلیل مشابه در مورد روزهای غیرکاری نشان می‌دهد با توجه به اینکه در مورد روزهای غیرکاری، در بازه زمانی صبح، نمی‌توان زمان اوج مشخصی را استخراج کرد (طبق تحلیل‌های توصیفی در بخش قبل)، بنابراین تهیه نقشه‌های پوششی در بازه مورد نظر در اوج صبح چندان معنی‌دار نیست.

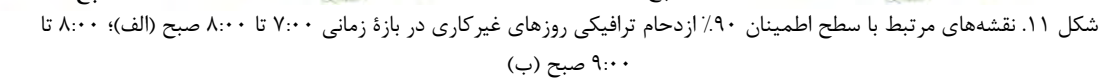
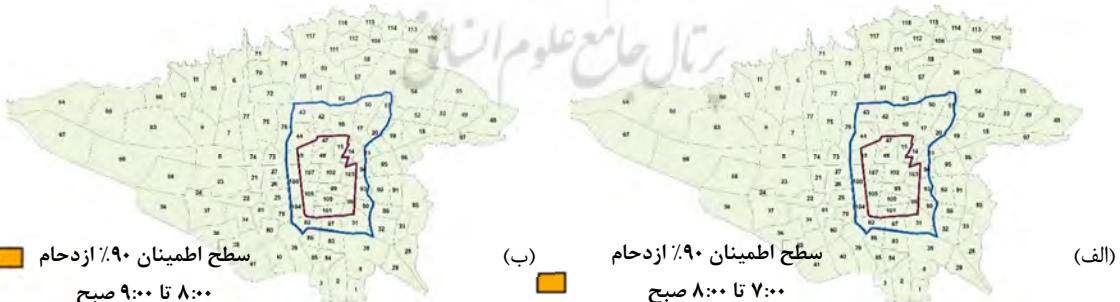


شکل ۹. نقشه‌های مرتبط با سطح اطمینان ۹۰٪ ازدحام ترافیکی روزهای کاری در بازه زمانی ۷:۰۰ تا ۸:۰۰ صبح (الف)؛ ۸:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح (ب)

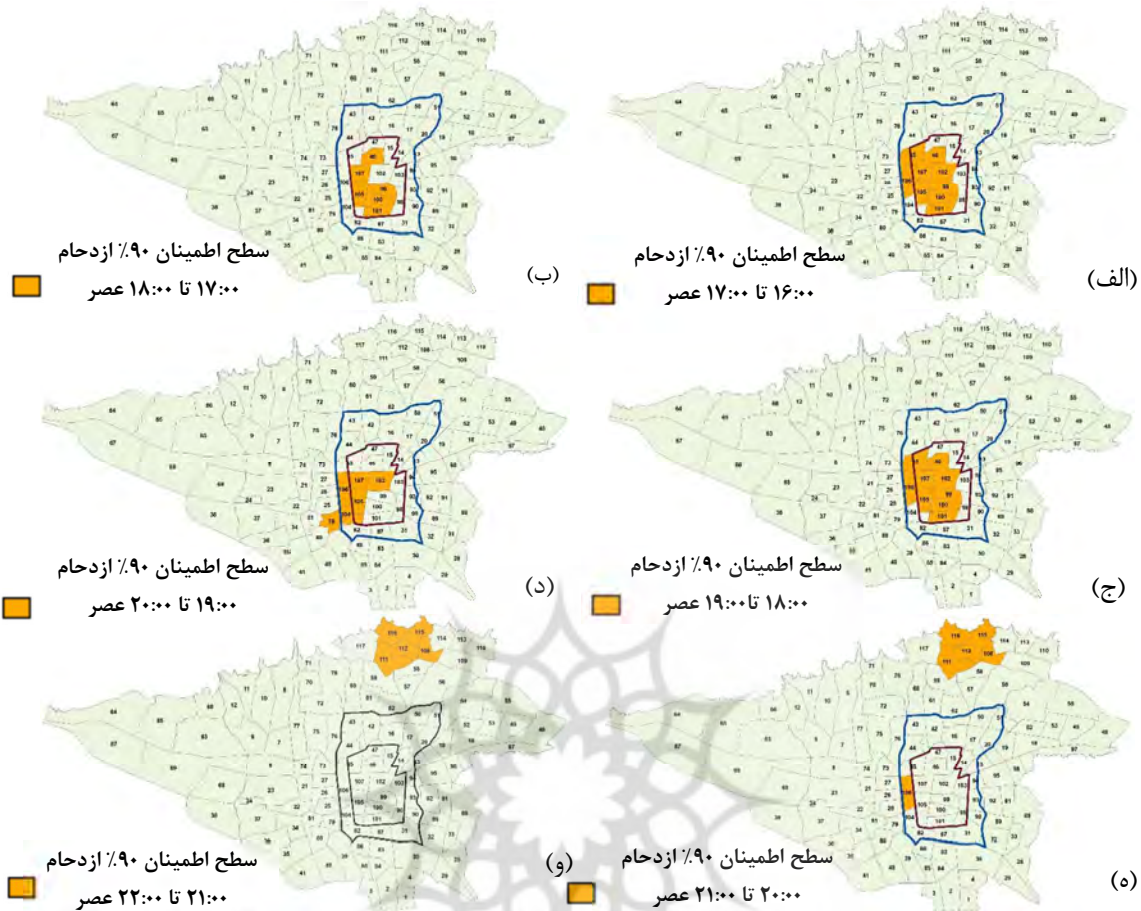
متین شهری و افشین شریعت مهمی



شکل ۱۰. نقشه‌های مرتبط با سطح اطمینان ۹۰٪ ازدحام ترافیکی روزهای کاری در بازه زمانی ۱۶:۰۰ تا ۱۷:۰۰ عصر (الف)؛ ۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰ عصر (ب)؛ ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۰۰ عصر (ج)؛ ۱۹:۰۰ تا ۲۰:۰۰ عصر (د)؛ ۲۰:۰۰ تا ۲۱:۰۰ عصر (ه)؛ ۲۱:۰۰ تا ۲۲:۰۰ عصر (و)



شکل ۱۱. نقشه‌های مرتبط با سطح اطمینان ۹۰٪ ازدحام ترافیکی روزهای غیرکاری در بازه زمانی ۷:۰۰ تا ۸:۰۰ صبح (الف)؛ ۸:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح (ب)



شکل ۱۲. نقشه‌های مرتبط با سطح اطمینان ۹۰٪ ازدحام ترافیکی روزهای غیرکاری بازه زمانی ۱۶:۰۰ تا ۱۷:۰۰ عصر (الف)؛ ۱۷:۰۰ تا ۱۸:۰۰ عصر (ب)؛ ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۰۰ عصر (ج)؛ ۱۹:۰۰ تا ۲۰:۰۰ عصر (د)؛ ۲۰:۰۰ تا ۲۱:۰۰ عصر (ه)؛ ۲۱:۰۰ تا ۲۲:۰۰ عصر (و)

## ۵- نتیجه‌گیری

محدوده طرح، محدوده طرح کنترل آلودگی و خارج از آن، مورد بررسی قرار گرفت و الگوهای ازدحام استخراج شد. سپس خودهمبستگی‌های مکانی بین مقادیر ازدحام ترافیکی، با استفاده از شاخص همبستگی مکانی Getis Ord ارزیابی شد و نواحی دارای مقادیر بالای ازدحام ترافیکی که خوشه‌بندی‌های مشخصی را نشان می‌دهند، مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین همبستگی زمانی بین مقادیر ازدحام ترافیکی، در برش‌های زمانی مورد بررسی (میانگین مقادیر ازدحام در هر هفته، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری)، وجود ارتباطات و همبستگی زمانی معنی‌دار بین مقادیر ازدحام ترافیکی

پارامترهای ارزیابی وضعیت ترافیکی، همچون ازدحام، نقش اساسی در ارزیابی عملکرد بسیاری از سیستم‌های حمل‌ونقلی دارند و به‌منزله معیاری برای تحلیل سیستم‌های حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شوند. در مطالعه انجام شده، امکان‌سنجی استفاده از داده‌های دریافتی در قالب تصاویر ترافیکی مرتبط با سرویس نقشه‌های گوگل طی بازه‌های زمانی متفاوت، به‌منزله نوعی از کلان‌داده‌ها، بررسی شد. پس از استخراج داده‌ها و تحلیل و پردازش رقومی تصاویر، روند تغییرات میانگین ازدحام ترافیکی در سطح نواحی گوناگون، به تفکیک روزهای کاری و غیرکاری و همچنین داخل

- Methods and Visualizations to Study Travel Times**, Journal of Transport Geography, 48: PP. 41-51.
- Di, X., Xiao, Y., Zhu, C., Deng, Y., Zhao, Q. & Rao, W., 2019, **Traffic Congestion Prediction by Spatiotemporal Propagation Patterns**, 2020, 19<sup>th</sup> IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), IEEE.
- Elhorst, J.P., 2001, **Dynamic Models in Space and Time**, Geographical Analysis, 33(2), PP. 119-140.
- Gething, P.W., Noor, A.M., Gikandi, P.W., Hay, S.I., Nixon, M.S., Snow, R.W. & Atkinson, P.M., 2008, **Developing Geostatistical Space-Time Models to Predict Outpatient Treatment Burdens from Incomplete National Data**, Geographical Analysis, 40(2): PP. 167-188.
- Getis, A., 2008, **A History of the Concept of Spatial Autocorrelation: A Geographer's Perspective**, Geographical Analysis, 40(3): PP. 297-309.
- Griffith, D.A., 2010, **Modeling Spatio-Temporal Relationships: Retrospect and Prospect**, Journal of Geographical Systems, 12(2): PP. 111-123.
- He, F., Yan, X., Liu, Y. & Ma, L., 2016, **A Traffic Congestion Assessment Method for Urban Road Networks Based on Speed Performance Index**, Procedia Engineering, 137, PP. 425-433.
- Ito, T. & Kaneyasu, R., 2017, **Predicting Traffic Congestion Using Driver Behavior**, Procedia Computer Science, 112, PP. 1288-1297.
- Jia, S., Peng, H. & Liu, S., 2011, **Urban Traffic State Estimation Considering Resident Travel Characteristics and Road Network Capacity**, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 11(5), PP. 81-85.
- Kohan, M. & Ale, J.M., 2020, **Discovering Traffic Congestion through Traffic Flow Patterns Generated by Moving Object Trajectories**, Computers, Environment and Urban Systems, 80, P. 101426.
- را اثبات کرد. تحلیل پوششی نقشه‌های ترافیکی به‌منظور شناسایی نواحی پرزدحام، در سطح اطمینان ۹۰٪ برای بازه‌های زمانی اوج صبح و عصر و به‌تفکیک روزهای کاری و غیرکاری نیز مطرح شد و نواحی‌ای که در ۹۰٪ زمان‌های مورد مطالعه با ازدحام ترافیکی مواجه‌اند استخراج شد. در این پژوهش، نخستین بار داده‌های مرتبط با تصاویر ترافیکی به‌دست‌آمده از سرویس نقشه گوگل، به‌منظور انجام‌شدن تحلیل‌های زمانی- مکانی مرتبط با ازدحام ترافیکی به‌کار رفته است که با توجه به معضلاتی در زمینه روش‌های سنتی، پیوستگی زمانی و مکانی و کم‌تر بودن هزینه جمع‌آوری، می‌تواند در اهداف مدیریت تقاضای ترافیک، مانند کمک به اصلاح و بازنگری محدوده‌های ترافیکی و محدوده طرح کنترل آلودگی، مؤثر باشد و به تحلیل‌هایی درباره آلودگی هوا و آلاینده‌های ترافیکی و همچنین مطالعات در زمینه قیمت‌گذاری معابر یاری رساند.

#### ۶- منابع

- Bertini, R.L. & Tantiyanugulchai, S., 2004, **Transit buses as traffic probes: Use of geolocation data for empirical evaluation**, Transportation Research Record, 1870(1), PP. 35-45.
- Bertini, R.L., Leal, M. & Lovell, D.J.R.B., 2002, **Generating Performance Measures from Portland's Archived Advanced Traffic Management System Data**, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Cipriani, E., Mannini, L., Montemarani, B., Nigro, M. & Petrelli, M., 2018, **Congestion Pricing Policies: Design and Assessment for the City of Rome, Italy**, Transport Policy, developers.google.com, from <https://developers.google.com/maps/support>.
- Dewulf, B., Neutens, T., Vanlommel, M., Logghe, S., De Maeyer, P., Witlox, F., De Weerd, Y. & Van de Weghe, N., 2015, **Examining Commuting Patterns using Floating Car Data and Circular Statistics: Exploring the Use of New**

- Levine, J. & Garb, Y., 2002, **Congestion Pricing's Conditional Promise: Promotion of Accessibility or Mobility?**, *Transport Policy*, 9(3), PP. 179-188.
- Li, L., Wu, J., Ghosh, J.K. & Ritz, B., 2013, **Estimating Spatiotemporal Variability of Ambient Air Pollutant Concentrations with a Hierarchical Model**, *Atmospheric Environment*, 71, PP. 54-63.
- Li, L., Chen, X., Li, Q., Tan, X., Chen, J., Wang, D. & Jia, P., 2021, **Contextualizing Human Dynamics: Understanding the Semantics of Movement Trajectories with Wi-Fi Data**, *Travel Behaviour and Society*, 25, PP. 183-192.
- Muñoz-Villamizar, A., Solano-Charris, E.L., AzadDisfany, M. & Reyes-Rubiano, L., 2021, **Study of Urban-Traffic Congestion Based on Google Maps API: The Case of Boston**, *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), PP. 211-216.
- Naylor, K., Tootoo, J., Yakusheva, O., Shipman, S., Bynum, J. & Davis, M., 2019, **Geographic Variation in Spatial Accessibility of U.S. Healthcare Providers**, *PLOS ONE*, 14, P. e0215016.
- Oud, J.H., Folmer, H., Patuelli, R. & Nijkamp, P., 2012, **Continuous-Time Modeling with Spatial Dependence**, *Geographical Analysis*, 44(1), PP. 29-46.
- Rahmani, M., Koutsopoulos, H.N. & Jenelius, E., 2017, **Travel Time Estimation from Sparse Floating Car Data with Consistent Path Inference: A Fixed Point Approach**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, PP. 628-643.
- Rodriguez-Vega, M., Canudas-de-Wit, C. & Fourati, H., 2021, **Urban Network Traffic State Estimation Using a Data-Based Approach**, *IFAC-PapersOnLine*, 54(2), PP. 278-283.
- Shaker, R.R., Altman, Y., Deng, C., Vaz, E. & Forsythe, K.W., 2019, **Investigating Urban Heat Island through Spatial Analysis of New York City Streetscapes**, *Journal of Cleaner Production*, 233, PP. 972-992.
- Shariat Mohaymany, A. & Shahri, M., 2020, **Evaluating the Impact of New Congestion Charging Scheme Using Smartphone-Based Data: A Spatial Change Detection Study**, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(9), PP. 1105-1115.
- Song, J., Zhao, C., Zhong, S., Nielsen, T.A.S. & Prishchepov, A.V., 2019, **Mapping Spatio-Temporal Patterns and Detecting the Factors of Traffic Congestion with Multi-Source Data Fusion and Mining Techniques**, *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, P. 101364.
- Turochy, R.E. & Smith, B.L., 2002, **Measuring Variability in Traffic Conditions by Using Archived Traffic Data**, *Transportation Research Record*, 1804(1), PP. 168-172.
- Wagner, J.M.S., Eschbach, M., Vosseberg, K. & Gennat, M., 2020, **Travel Time Estimation by Means of Google API Data**, *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), PP. 15434-15439.
- Yang, L. & Wang, L., 2020, **Mining Traffic Congestion Propagation Patterns Based on Spatio-Temporal Co-Location Patterns**, *Evolutionary Intelligence*, 13(2), PP. 221-233.
- Yang, S., Wu, J., Xu, Y. & Yang, T., 2019, **Revealing Heterogeneous Spatiotemporal Traffic Flow Patterns of Urban Road Network via Tensor Decomposition-Based Clustering Approach**, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, P. 120688.
- Yao, W., Zhang, M., Jin, S. & Ma, D., 2021, **Understanding Vehicles Commuting Pattern Based on License Plate Recognition Data**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 128, P. 103142.
- Yu, B., Lee, Y. & Sohn, K., 2020, **Forecasting Road Traffic Speeds by Considering Area-Wide Spatio-Temporal Dependencies Based on a Graph Convolutional Neural Network (GCN)**, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, PP. 189-204.

- Zhan, X., Li, R. & Ukkusuri, S.V., 2020, **Link-Based Traffic State Estimation and Prediction for Arterial Networks Using License-Plate Recognition Data**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 117, P. 102660.
- Zhao, P. & Hu, H., 2019, **Geographical Patterns of Traffic Congestion in Growing Megacities: Big Data Analytics from Beijing**, Cities, 92, PP. 164-176.





# سنجش از دور و GIS ایران



سال پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲  
Vol.15, No. 1, Spring 2023

سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

63-84

## Identifying Spatio-Temporal Patterns of Traffic Congestion Using Data Obtained from Google Maps Service Traffic Image

Shahri M.<sup>\*1</sup> and Shariat Mohaymany A.<sup>2</sup>

1. Assistant Prof., Dep. of Geoscience Engineering, Arak University of Technology, Arak  
2. Prof. of School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran

### Abstract

Analyzing traffic conditions and suggesting traffic management methods play a critical role in evaluating the effectiveness of transportation systems. Among the methods suggested for collecting traffic data, approaches based on new technologies attracted more attention due to the ability of collecting large amounts of dynamic spatio-temporal data making it easy to identify trends and patterns. In this study, Tehran, the capital of Iran with socio-economic characteristics and the variety of urban trips which lead to heterogeneous traffic state will be considered. Data obtained from digital processing of Google Maps traffic images the one-month time interval (April 7<sup>th</sup> to May 7<sup>th</sup>, 2017), has been applied for the first time to evaluate the trend and overall pattern of the changes in traffic congestion in the study area. Considering the variety of trip patterns and consequently the traffic congestion, traffic congestion index (CI) has been calculated on workdays and weekends separately and was assigned to the district center and the morning and evening peak-hours were extracted using descriptive analysis. By applying Getis-Ord hot-spot and cold-spot index, the clusters of congested areas have been recognized over the study area. Also, the temporal relationship between traffic congestion indexes in different time sections was evaluated using Kruskal-Wallis statistical test and the null hypothesis of correlation between the mean values of congestion index was confirmed. Using overlay analysis of congestion maps, clusters indicating congested areas at 90% confidence intervals were extracted during morning and evening peaks on weekdays and weekends separately. The results of this study can be effective in modifying traffic congestion zones, analyzing pollution or studies relating to road pricing, and assessing the process of traffic congestion propagation during desired time intervals.

**Keywords:** Traffic congestion, Spatio-temporal analyses, Map overlay, Traffic images.

\* Correspondence Address: Dep. of Geoscience Engineering, Arak University of Technology, Arak. Tel: 09190515227  
Email: shahri@arakut.ac.ir