نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱

Vol.10, No.3, Autumn 2022

۹۵ -۱۱۹

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3

تحلیل مکانی-زمانی تاثیر کووید-۱۹ در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی شهری شیکاگو با نگرش تنسور مبنا

مصطفی گلمحمدی [۱]، حسین اعتمادفرد [۲*]، حامد خرقانی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله:۱۴۰۱/۱۰/۲۷

چکیده

دوچرخه‌سواری یک پدیده در حمل و نقل شهری است که در هر لحظه از زمان توانایی تخصیص موقعیت مکانی خاص را دارد. بر این اساس تحلیل مکانی سفرهای صورت گرفته با دوچرخه می‌تواند با تحلیل زمانی همراه باشد. عموما برای نمایش میزان تغییرات مکانی پدیده، استفاده از محیط *GIS* پیشنهاد می‌گردد؛ این درحالی است که جهت اعمال و نمایش تغییرات در طول زمان نیازمند تولید لایه‌های اطلاعاتی بیشتری خواهد بود. پژوهش حاضر امکان نمایش همزمان اطلاعات مکانی و زمانی را توسط مفهوم و ابزار تنسور میسر می‌سازد. با بهره‌گیری از این ابزار توان نمایش و تحلیل حجم بالایی از اطلاعات مکانی با قدرت تفکیک زمانی به سبب نمایش همزمان لایه‌های اطلاعاتی به وجود می‌آید. این مطالعه سعی بر آن دارد تحلیل‌های مکانی و زمانی را به طور هم‌زمان با استفاده از مفهوم تنسور به جهت درک چگونگی درخواست کاربران دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو در ساعات مختلف از روز را بررسی کند. درواقع پژوهش حاضر به طور همزمان میزان، توزیع مکانی و توزیع زمانی سفرهای دوچرخه اشتراکی را تحلیل می‌نماید. علاوه بر این تعداد سفرهای دوچرخه‌ای در طول زمان در کنار میزان کاهش و افزایش سفرها از محلات از دید مکانی به صورت مجزا مورد مطالعه قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که شیوع و گسترش کرونا در ماه آوریل ۲۰۲۰ در شیکاگو منجر به آن شده است که میزان استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی در این شهر نسبت به مدت مشابه در سال ۲۰۱۹، ۶۸٫۴ درصد کاهش پیدا کند. این میزان در بررسی جزئی‌تر برای روزهای تعطیل این ماه با ۶۴٫۳ درصد و در روزهای عادی و غیرتعطیل با ۷۲٫۶ درصد کاهش همراه بوده است. همچنین در بررسی مکانی نشان داده می‌شود که در ماه آوریل سال ۲۰۲۰ محلاتی که در مرکز شهر واقع شده‌اند، بیشترین میزان کاهش در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی را تجربه می‌کنند؛ علاوه بر آن پس از گسترش بیماری نیز درخواست استفاده از دوچرخه از مبادی و مقاصد یکسان افزایش پیدا کرده است.

کلید واژه‌ها : کرونا، تنسور، دوچرخه‌های اشتراکی، آنالیز مکانمند-زمانمند، *GIS*.

* نویسنده مکاتبه کننده: دانشگاه فردوسی مشهد، داانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران.

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۵۴۴۳

Email: etemadfard@um.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]

[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

۱- مقدمه

بیماری کووید-۱۹ که اولین بار در پایان سال ۲۰۱۹ کشف شد، در ۱۱ مارس ۲۰۲۰ توسط سازمان بهداشت جهانی به طور رسمی یک بیماری همه‌گیر اعلام شد [۱]. گسترش سریع بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ چالش‌های بی سابقه‌ای را به همراه داشته و زندگی عادی انسان‌ها و سلامت عمومی جهانی را تهدید کرده و می‌کند [۲]. از جمله این بیماری و مداخلات غیردارویی مرتبط با آن نظیر فاصله‌گذاری اجتماعی تغییرات چشمگیری را در الگوهای حرکتی انسان، دوچرخه‌سواری، ترانزیت حمل‌ونقل و رانندگی داشته است [۳]. با در نظر گرفتن این که انتظار می‌رود مسافران حمل‌ونقل عمومی در طول مدت همه‌گیری تحت‌تاثیر کووید-۱۹ قرار بگیرند، احتمال تغییر حالت از حمل‌ونقل عمومی به خودرو وجود دارد [۴].

بررسی تغییر در دوچرخه‌سواری در طول همه‌گیری به دلایل متعددی نظیر رعایت فاصله‌گذار اجتماعی، تامین دوچرخه‌های مورد نیاز در ایستگاه‌های ارائه خدمات و مدیریت ترافیک شهری ضروری است. دوچرخه‌سواری گزینه سفر کارآمدتر و ایمن‌تری برای حفظ فاصله اجتماعی در طول همه‌گیری می‌باشد به ویژه زمانی که این سیستم با حمل و نقل عمومی در فضای شلوغ مورد مقایسه قرار می‌گیرد. بنابراین، افراد برای حفظ رعایت فاصله اجتماعی و مبتلا نشدن به این بیماری سعی دارند تا به مراکزی که شلوغ نباشد تغییر مکان دهند که این خود باعث ایجاد تغییرات مکانی در استفاده از دوچرخه در طول همه‌گیری در مقایسه با مدت مشابه در شرایط عادی می‌شود [۳]. با توجه به اینکه تمام جهان تحت تأثیر این بیماری همه‌گیر قرار گرفته است، انجام مطالعات در مورد جنبه‌های مکانی-زمانی همه‌گیری کووید-۱۹ از اهمیت بالایی برخوردار است [۵]. با این وجود، مطالعات اندکی در طول همه‌گیری، تغییرات مکانی و زمانی را به صورت کمّی بررسی کرده‌اند [۶]. درک تغییرات مکانی-زمانی در تقاضا برای سیستم‌های اشتراک دوچرخه برای کمک به سیاست‌گذاری با هدف ارتقای طرح‌های اشتراک دوچرخه بسیار مهم است [۷]. شناخت فرآیندهای تصمیم‌گیری فردی در پذیرش و استفاده از سیستم‌های اشتراک دوچرخه می‌تواند اپراتورهای سیستم اشتراک دوچرخه را قادر سازد تا خدمات خود را به طور مؤثرتری برنامه‌ریزی کنند [۸]. از آنجایی که سیستم اشتراک دوچرخه نقش مهم و فزاینده‌ای در سیستم حمل و نقل شهری ایفا می‌کند، نیازهای بیشتری برای درک عوامل موثر در استفاده از یک ایستگاه خاص وجود دارد. زیرا آشنایی با این موضوع می‌تواند میزان سواری ایستگاه‌های جدید و موجود را بهتر تخمین بزند، و بنابراین مرجعی برای تعیین مکان ایستگاه‌های جدید و تسهیل عملیات فراهم کند [۹].

در این میان برخی از پژوهش‌ها سعی در مطالعه رفتار تغییرات مکانی-زمانی سیستم‌های اشتراکی حمل و نقل سبز داشته‌اند. ژوئو و همکاران (۲۰۱۵) سیستم دوچرخه‌های اشتراکی شیکاگو را برای جولای تا دسامبر ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها تحلیل‌های مکانی خود را مبتنی بر الگوریتم حریصانه سریع[۱] و تقاضاهای زمانی برای دوچرخه‌ها را با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی مورد بررسی قرار داده‌اند. بر این اساس الگوهای منحصر به‌فرد در طول هفته و آخر هفته را کشف کرده و همچنین روندهای مختلف حرکتی را از داخل داده عظیم استخراج کرده‌اند [۱۰]. در پژوهشی دیگر مکنزی و همکاران (۲۰۱۸) داده‌های دوچرخه‌های اشتراکی مبتنی بر ایستگاه و شناور شهر واشنگتن را مطالعه کرده‌اند. هدف آن‌ها مطالعه الگوی استفاده از دوچرخه‌ها شناور و دارای ایستگاه‌های مشخص جهت نصب بوده است. آن‌ها سفرهای صورت گرفته در هر دو سیستم را با استفاده از چندضلعی‌های ورونویی نرمال کرده‌اند. تجزیه و تحلیل‌های آن‌ها نشان داد که تفاوت واضحی در نحوه استفاده

[۱] *Fastgreedy*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

از این دو نوع سیستم وجود دارد. سیستم‌های دارای ایستگاه بیشترین تمرکز را روی سفرهای هدف‌دار داشته است درحالی که سفرهای مربوط به سیستم‌های دوچرخه شناور مبتنی بر فراغت بود [۱۱]. بای و همکاران (۲۰۲۰) تحقیقاتی در آمریکا جهت بررسی الگوی سفرها با مسافت کوتاه و کشف ارتباط آن با محیط شهری، مطالعه‌ای را بر روی سفرهای اسکوتر الکتریکی در دو شهر آستین و منیاپولیس در ایالات متحده آمریکا با استفاده از تحلیل مکانی و زمانی در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی (*GIS*)[۱] انجام داده‌اند. آن‌ها برای مطالعه، شهرها را به پلیگون‌های شش ضلعی تقسیم کرده‌اند. این پلیگون‌ها برپایه سه اصل سفرهای ورودی، خروجی و داخلی مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس متوجه شدند که متراکم‌ترین محل استفاده از اسکوترها در مراکز شهری و محدوده دانشگاهی در هر دو شهر اتفاق می‌افتد؛ اما این رخداد از دید زمان وقوع در این دو شهر متفاوت می‌باشد. همچنین مقایسه این دو شهر نشان داد که سفرهای اسکوتر الکتریکی در مینیاپولیس مستقل از سایر حمل و نقل شهری است اما در سفرهای موجود در آستین ارتباط مشاهده می‌شود [۸]. در مطالعه‌ای دیگر در شهر شیکاگو، سونغوآ و همکاران (۲۰۲۱) داده‌های دوساله اشتراکی دوچرخه را با سایر روش‌های حمل و نقل بررسی کرده‌اند. مجموعه‌ای از مدل‌های افزودنی تعمیم‌یافته برای شناسایی روابط و ترسیم تعاملات زمانی غیرخطی بین استفاده روزانه اشتراک‌گذاری دوچرخه در سطح ایستگاه و متغیرهای مستقل مختلف از جمله جمعیت‌شناسی اجتماعی، کاربری زمین، ویژگی‌های حمل‌ونقل، ویژگی‌های ایستگاه و بیماری کووید-۱۹ برازش داده شده است [۳]. سانگ و همکاران (۲۰۲۲) الگوی استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی را قبل، حین و بعد از اعمال محدودیت‌های مقامات محلی در سنگاپور به دلیل کووید-۱۹ را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه نشان داده می‌شود که تعداد استفاده‌کنندگان از دوچرخه در طول قرنطینه ۲/۵ برابر افزایش یافته است. همچنین مشخص شد که سیستم حمل و نقل دوچرخه‌های اشتراکی می‌تواند جایگزین خوبی برای سیستم‌های حمل و نقل دیگر در دوره‌های اعمال محدودیت قرنطینه شود. این مطالعه نشان می‌دهد که سفرهای کوتاه بین ایستگاه‌های اتوبوس می‌تواند با دوچرخه‌های اشتراکی انجام بپذیرد. آن‌ها برای این منظور از الگوریتم تشخیص جامعه[۲] استفاده کرده‌اند [۱۲].

در این میان مطالعاتی نیز دوچرخه‌های اشتراکی را بر پایه تنسور بررسی کرده‌اند. یویو و همکاران (۲۰۱۸) داده‌های دوچرخه‌های اشتراکی شهر نیویورک و شیکاگو را بررسی کرده‌اند. آن‌ها یک تنسور بر اساس اطلاعات مکانی، زمانی و اطلاعات کاربران دوچرخه‌های تولید کردند و برای کشف الگوی فعالیت پنهان کاربران از روش‌های تجزیه تنسوری استفاده کردند. آن‌ها با بصری سازی این تنسور قابلیت مقایسه و درک کاربر کمک کردند و در نهایت اثر بخشی سیستم خود را در این دو شهر نشان دادند [۱۳]. هائو و همکاران (۲۰۱۹) رفتار دوچرخه‌سواران دوچرخه‌های شناور شهر پکن را مورد مطالعه قرار دادند. بر این اساس آن‌ها تمرکز خود را بر روی تولید یک تنسور سه بعدی شامل زمان، مکان و ویژگی قرار دادند و یک روش تجزیه تنسوری ارائه کردند. آن‌ها بعد از تقسیم پکن به محلات مختلف، نتایج حاصل از تجزیه تنسوری را بر پایه نقشه‌های حرارتی نمایش دادند [۱۴]. در این میان مطالعات دیگری نیز درسایر حوزه‌ها با استفاده از تنسور توسط دو و همکاران (۲۰۱۶) در ارتباط با پردازش تصویر، سان و آکسهاسن (۲۰۱۶) در ارتباط با حمل و نقل شهری، رابانسر و همکاران (۲۰۱۷) در ارتباط با آموزش

[۱] *Geospatial Information System*

[۲] *Community Detection*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

ماشین، لین و همکاران (۲۰۱۸) در ارتباط با تحلیل داده‌های مکانی-زمانی و ان و همکاران (۲۰۱۸) در ارتباط با سنجش از دور صورت گرفته است [۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹].

هدف این پژوهش کشف میزان و چگونگی تاثیر کووید-۱۹ در استفاده از دوچرخه اشتراکی می‌باشد. گسترش بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ یکی از عوامل تاثیر گذار در سطح استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی می‌باشد. همچنین جهت تحلیل و نمایش توام مکانی و زمانی از ابزار تنسور[۱] استفاده گردیده است. این مطالعه به تغییرات در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو با تحلیل مکانی-زمانی بر پایه تنسور برای کشف میزان تاثیر کووید-۱۹ می‌پردازد. این تحلیل با قابلیت تفکیک مبادی و مقاصد در ساعات مختلف روز توانایی کشف تغییرات در طول ساعات روز مبتنی بر مکان را در اختیار تحلیلگران مرتبط با برنامه‌ریزی مدیریت حمل و نقل شهری می‌گذارد. پژوهش حاضر به طور همزمان در صدد کشف میزان افزایش و کاهش سفرها، توزیع مکانی و توزیع زمانی سفرهای انجام شده است و با نگرش تنسوری پاسخ به این اهداف را نمایش می‌دهد. در مقایسه روش‌های تنسوری با روش‌های زمین آماری باید توجه داشت که روش‌های زمین آماری برای تحلیل در دو بعد مناسب است و امکان تحلیل مکانی و زمانی به صورت تؤامان را فراهم نمی‌کند، در حالی که روش‌های تنسوری این قابلیت را دارند. به بیان دیگر، هدف و نوآوری مقاله حاضر مطالعه و نمایش مبدا، مقصد و زمان سفرهای انجام شده با دوچرخه‌های اشتراکی به صورت همزمان است که ابزارها و الگوریتم‌های رایج سیستم اطلاعات مکانی توانایی انجام آن را ندارند. از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های تنسور امکان مقایسه چند لایه زمانی مختلف در یک تنسور است در حالی که با استفاده از روش‌های غیرتنسوری می‌بایست لایه‌های زمانی دو به دو با یکدیگر مقایسه شوند.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا داده‌های مورد استفاده در این مطالعه توضیح داده خواهد شد و سپس روش پیشنهادی معرفی و مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. در انتها نیز به نحوه آماده سازی داده‌ها جهت استفاده در روش بیان شده پرداخته می‌شود.

۲-۱- داده

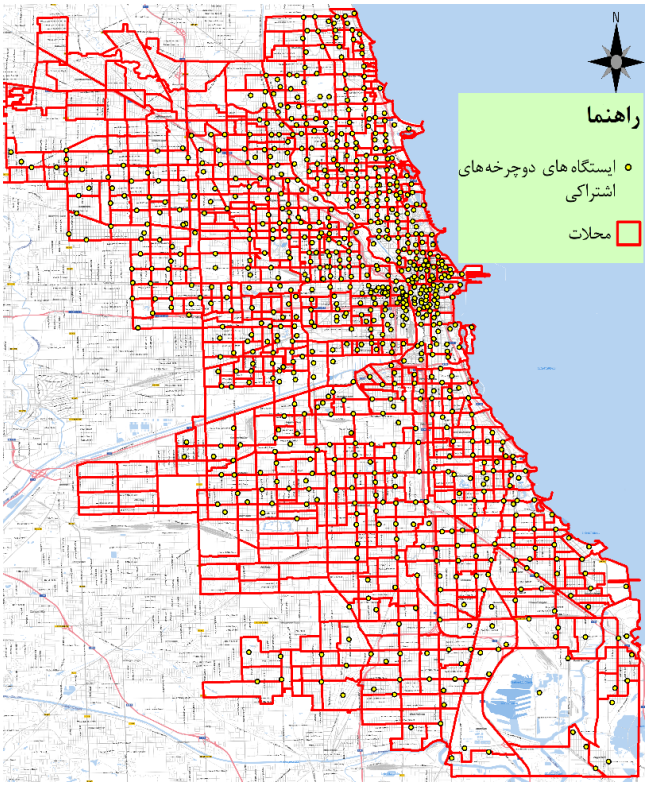
در این پژوهش از داده‌های سیستم دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو[۲] استفاده شده است. این سیستم به دو صورت به کاربران خود خدمات می‌دهند که براین اساس یا مشتریان باید برای مدت مشخصی اشتراک تهیه کنند یا به صورت ساعتی این دوچرخه‌ها را کرایه کرده و استفاده نمایند. داده‌های این سیستم از سال ۲۰۱۳ در وبگاه این شرکت به فرمت متنی قابل مشاهده و بهره‌برداری است. داده‌های جمع‌آوری موجود برپایه سفر هر کاربر است. بدین معنی که اطلاعات هر سفر بر اساس ساعت و تاریخ شروع و پایان سفر، ایستگاه مبدأ و مقصد سفر و همچنین اطلاعات دیگر که در سال‌های متفاوت ارائه شده است. برای مثال در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ سن کاربران و جنسیت کاربران دارای اشتراک بیان شده است، این درحالی است که در سال ۲۰۲۱ می‌توان نوع دوچرخه ساده یا الکتریکی استفاده شده در هر سفر را مشاهده کرد. در این مطالعه تمرکز بر روی استخراج اطلاعات مربوط به زمان شروع و پایان، مبدأ و مقصد هر سفر بوده است. از طرفی به این دلیل که یکی از اهداف تحقیق حاضر بررسی اثر کرونا بر روی به کارگیری دوچرخه‌های اشتراکی است، بایستی داده‌های سال‌های ۲۰۱۸ تا انتهای سال ۲۰۲۱ برای ماه آوریل مورد بررسی قرار می‌گرفت. داده‌های مربوطه در برخی از جزییات در

[۱] *Tensor*

[۲] *Divvy*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

سال‌های مختلف تفاوت داشتند که مستلزم انجام پیش پردازش‌ها و اجرای فاز آماده‌سازی داده، بودند. به عنوان مثال داده‌های سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ دارای شناسه (*ID*) مبادی شروع و پایان سفر برای ایستگاه‌ها هستند، اما جهت مشخص نمودن مختصات ایستگاه‌های مبادی و مقاصد سفر در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ از موقعیت مکانی زمین مرجع ثبت شده توسط خود دوچرخه استفاده شده است. برای یکپارچه‌سازی این داده‌ها و همچنین تغییر مطالعه ایستگاه‌ها به مطالعه محلات شهر شیکاگو، شروع و پایان سفرها بر اساس محله‌بندی شهر شیکاگو بیان می‌گردد. در شکل (۱) نحوه تقسیمات محلات شهر شیکاگو به نمایش در آمده است.



شکل ۱: محدوده محله‌های شهر شیکاگو شامل چندضلعی‌های قرمز رنگ و ایستگاه‌های دوچرخه با نقاط زرد رنگ

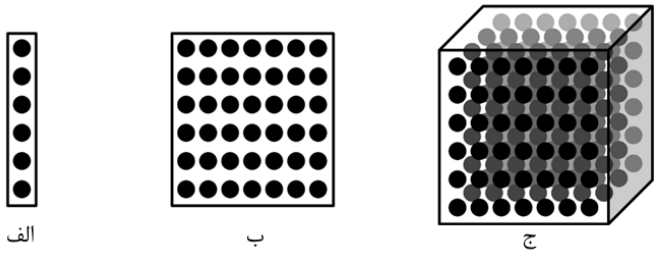
در شکل (۱) شهر شیکاگو به ۸۰۹ محله تقسیم شده است که با پلیگون‌های قرمز رنگ به نمایش در آمده است، همچنین ایستگاه‌های ارئه‌دهنده خدمات دوچرخه اشتراکی با نقاط زرد رنگ در محدوده مورد مطالعه پخش شده‌اند. این محله‌بندی مبتنی بر تقسیم-بندی شهر شیکاگو در دهه ۱۹۲۰ بر پایه مطالعات دانشگاه شیکاگو می‌باشد. همچنین اطلاعات سفر براساس اطلاعات ایستگاه‌ها بیان می‌شد که با تخصیص ایستگاه‌ها به هر یک از محلات، اطلاعات سفر بر اساس شماره محله گزارش می‌شوند. در واقع محل شروع و پایان سفرها توسط شماره محلات گزارش می‌شوند.

۲-۲- تنسور

در مطالعات مربوط به تحلیل‌های مکانی-زمانی، تغییرات صورت گرفته در طول زمان را بر اساس موقعیت پدیده بررسی می‌کنند. داده‌های مکانی همواره برای نمایش نیازمند به موقعیت محلی یا جهانی هستند. همچنین موقعیت شئ می‌تواند در یک، دو و یا سه بُعد شامل طول، عرض و ارتفاع بیان گردد. این درحالی است که برای بررسی رفتار پدیده در طول زمان مطلوب است که بُعد زمان را نیز در نمایش

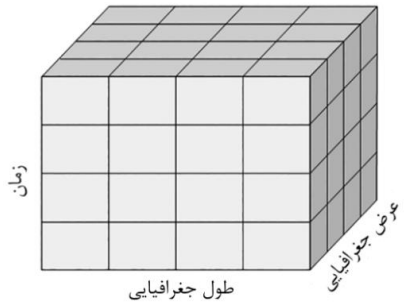
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

تغییرات به تصویر کشید. امکانات و روش‌های مرسوم *GIS* نظیر روش‌های زمین آماری امکان مقایسه پدیده‌ها در طول یک بازه زمانی را فراهم نمی‌کند؛ در حالی که با استفاده از تنسورها هر یک از این ابعاد ذکر شده می‌تواند محل تمایز در رفتار یک پدیده باشد. ابزارهای ریاضی و هندسی، فضایی را آماده می‌کند که هر بُعد امکان ایجاد یک بردار را داشته باشد، بدین شکل که عارضه با در نظر گرفتن صفر بُعد توانایی ذخیره‌سازی در یک سلول یا نقطه را خواهد داشت. یک بُعد کامل، توانایی ذخیره‌سازی در یک بردار خواهد داشت و در صورت داشتن دو بُعد، صفحه یا ماتریس تشکیل می‌شود. تنسورها در مواقعی کارایی دارند که ابعاد مورد بررسی عارضه و پدیده برابر با سه بُعد یا بیشتر باشد. بر این اساس با افزایش مولفه‌های مورد بررسی در مطالعات مکانی–زمانی قابلیت افزایش ابعاد به وسیله تنسور میسر می‌شود؛ که در این صورت با تفاوت در حداقل یک مولفه می‌توان بین پدیده‌ها تمایز قائل شد. برای مثال تنسور توانایی نمایش دو عارضه با شرط طول و عرض جغرافیایی یکسان و ارتفاع‌های متفاوت را دارد. همچنین با افزایش ابعاد در تنسور می‌توان عوارض متمایز بیشتری را ذخیره کرده و به نمایش درآورد. در شکل (۲) نمایشی از تمایز ذخیره سازی در ابعاد مختلف به تصویر کشیده شده است.



شکل۲: نمایش ابعاد مختلف جهت ذخیره‌سازی اطلاعات شامل الف: نمایش بردار، ب: نمایش ماتریس و ج: نمایش تنسور سه بُعدی

در شکل (۲-الف)، بردار حاصل ذخیره‌سازی اطلاعات در یک بُعد است. در شکل (۲-ب) ماتریس فضای حاصل از ذخیره‌سازی اطلاعات در دو بُعد را نشان می‌دهد و در شکل (۲-ج) اطلاعات ذخیره‌شده در سه بُعد تشکیل دهنده تنسور مرتبه سوم می‌باشد. استفاده از تنسور این امکان را می‌دهد که هر لایه اطلاعاتی را به صورت مجموعه‌ای از اعداد در ماتریس ذخیره کرد و بر اساس تغییر مولفه‌های موجود، اطلاعات را در ابعاد دیگر در نظر گرفت. به طور کلی می‌توان ماتریس و بردار را معادل با تنسورهایی با مرتبه کمتر از سه دانست. در شکل (۳) یک نمونه تنسور حاصل از یک پدیده متغیر مکانی–زمانی قابل مشاهده است.

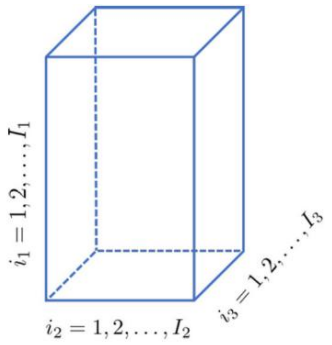


شکل ۳: تنسور حاوی اطلاعات مکانی و زمانی

در شکل (۳) اطلاعات جمع‌آوری شده بر اساس موقعیت مکانی عارضه در یک زمان مشخص موقعیتی منحصر به فرد را در فضای تنسور به خود اختصاص می‌دهد. این اطلاعات با برش‌هایی در راستای محورهای

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

مختصات (طول و عرض جغرافیایی) و زمان نسبت به تنسور قابل استخراج و تجزیه و تحلیل می‌باشد. هر برش از تنسور توانایی تولید یک مجموعه محتوای اطلاعاتی را دارد. بر این اساس می‌توان تنسورها با ابعاد بالاتر از ۳ را تشکیل داد به شکلی که درایه‌های تنسور n بُعدی تنسورهایی با ابعاد n-1 بُعد باشند. برای نمایش ابعاد تشکیل‌دهنده تنسور از فرم I_n استفاده می‌گردد. در شکل (۴) یک تنسور سه بُعدی نشان داده شده است.



شکل۴: نمایش ابعاد و تعداد مولفه‌های هر بُعد در تنسور

در شکل (۴) مقدار اندیس i بیانگر تعداد بُعد و مقدار اندیس I بیانگر تعداد مولفه‌های قابل تعریف در آن بُعد است. تنسور به نمایش درآمده شامل سه بعد است تعداد مولفه‌های هر بعد آن به ترتیب I_1، I_2 و I_3 می‌باشند که یعنی این تنسور می‌تواند $I_1 \times I_2 \times I_3$ عارضه متمایز از هم را در خود ذخیره کند. همچنین اپراتورهای محاسباتی مختلفی در بررسی تنسور مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌تواند باعث تولید تنسور و ماتریس جدید شود. در ذیل به برخی از اپراتورهای موجود اشاره می‌شود.

اپراتور تفاضل: این اپراتور جهت تفاضل بین دو تنسور مورد استفاده قرار می‌گیرد. نحوه اعمال این اپراتور در شکل (۵) و رابطه (۱) بیان شده است.

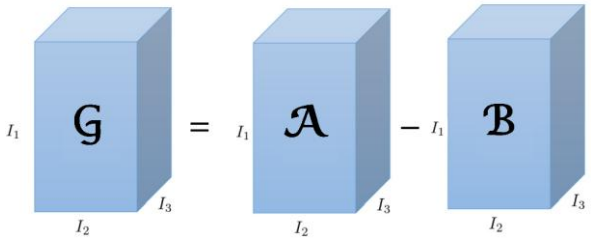
رابطه(۱) $$\mathcal{G}^{I_1 \times I_2 \times I_3} = \mathcal{A}^{I_1 \times I_2 \times I_3} - \mathcal{B}^{I_1 \times I_2 \times I_3}$$

در شکل (۵) و رابطه (۱) تنسور G حاصل تفاضل تنسورهای هم اندازه A و B می‌باشد. همچنین I و اندیس آن بیانگر تعداد مولفه در آن بُعد از تنسور است.

اپراتور جمع: این اپراتور برای تجمیع دو تنسور با ابعاد یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

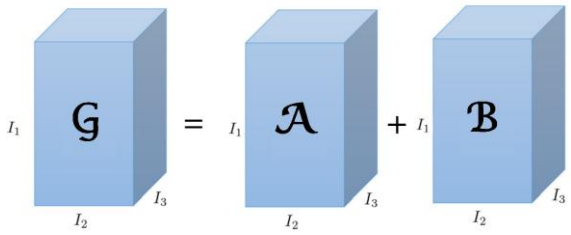
شکل (۶) و رابطه(۲) اپراتور جمع بین دو تنسور را نشان می‌دهد.

رابطه(۲) $$\mathcal{G}^{I_1 \times I_2 \times I_3} = \mathcal{A}^{I_1 \times I_2 \times I_3} + \mathcal{B}^{I_1 \times I_2 \times I_3}$$



شکل۵: اپراتور تفاضل بین تنسورهای هم بُعد و هم اندازه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۶: اپراتور جمع بین تنسورهای هم بُعد و هم اندازه

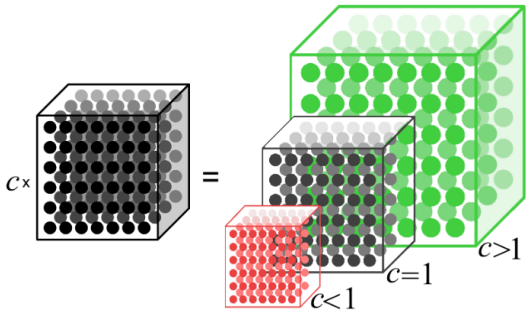
در شکل(۶) و رابطه(۲) دو تنسور هم اندازه A و B توسط اپراتور جمع تنسور G را تولید کرده‌اند. در واقع در عملیات جمع و تفریق بین تنسورها، ماتریس‌های تشکیل دهنده تنسور به صورت دو به دو از همدیگر کم یا بر هم افزوده شده و ماتریس جدید را برای ذخیره-سازی در تنسور ایجاد می‌کنند.

اپراتورهای ضرب: این اپراتور برخلاف اپراتور جمع و تفاضل به چند روش صورت می‌گیرد. انتخاب نوع ضرب بسته اندازه ماتریس‌ها انتخاب می‌شوند.

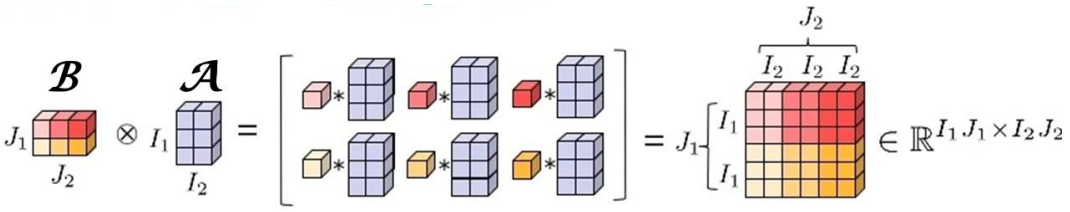
ضرب اسکالر: در این روش یک عدد اسکالر در بردار، ماتریس و تنسور می‌تواند ضرب شود. شکل(۷) ضرب اسکالر را نشان می‌دهد.

در شکل(۷) مقدار اسکالر c در یک تنسور ضرب شده است که این ضریب در تک تک درایه‌های داخل آن ضرب می‌شود. این ضریب اگر بزرگتر از ۱ باشد تنسور سبز را که بزرگتر از تنسور اصلی است را تولید می‌کند. این ضریب مثبت اگر کوچکتر از ۱ باشد، تنسور قرمز رنگ که کوچکتر از تنسور اصلی است را تولید می‌کند. همچنین ضریب می‌تواند منفی باشد که از لحاظ بزرگی می‌تواند مانند شکل(۷) در تنسور اثر کند.

کرونکر: در این نوع از ضرب ماتریس‌ها با هر اندازه می-توانند در هم ضرب شوند. این ضرب با نماد $\otimes$ مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل(۸) آمده است.



شکل ۷: ضرب اسکالر در تنسور (ضریب یک مقدار حقیقی است)



شکل ۸ : ضرب کرونکر بین تنسورها

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

در شکل (۸) اگر $\mathcal{A}$ ماتریسی در فضای حقیقی با ابعاد $I_1 \times I_2$ و $\mathcal{B}$ ماتریسی در فضای حقیقی با ابعاد $J_1 \times J_2$ ضرب کرونکر گردند فضایی با ابعاد $I_1 J_1 \times I_2 J_2$ را تولید خواهند کرد. بر این اساس تک تک درایه‌های تنسور اول در کل تنسور دوم ضرب اسکالر می‌شود و با کنار هم گذاشتن تنسورهای تولید شده ابر تنسور نهایی حاصل می‌شود.

۲-۳- آماده سازی داده‌ها برای تنسور مکانی-زمانی

در این پژوهش تمامی داده‌های مورد نیاز برای ماه آوریل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ آماده‌سازی می‌شوند. علت انتخاب آوریل به عنوان بازه زمانی بررسی تغییرات رفتار الگوی سفر، اطمینان از گسترش شیوع بیماری کووید-۱۹ در شهر شیکاگو و همچنین تاثیر گذاری در اذهان عمومی برای ایجاد تغییر الگوی زندگی می‌باشد. سفرهای انجام شده باید مدت زمان حداقلی یک دقیقه را داشته باشند تا از صحت سفرها اطمینان حاصل گردد. فرض می‌شود سفرهای زیر یک دقیقه به دلیل انصراف از دوچرخه سواری یا ایراد در دوچرخه کرایه شده توسط کاربر دارای خطا هستند. از دیدگاه مکانی اولین گام تعیین محدوده شروع و پایان هر سفر است. لذا شروع و پایان سفر بر اساس محله شروع حرکت دوچرخه و محله مقصد سفر دوچرخه گزارش می‌شوند. محلات با شماره‌هایی بین ۱ تا ۸۰۹ نامگذاری شده‌اند لذا در هر سفر محل مبدا و مقصد با عددی بین ۱ تا ۸۰۹ مشخص شده است. در گام بعدی داده‌ها به دو بخش روزهای تعطیل و غیر تعطیل تقسیم می‌شود. سپس تمامی سفرها، بر اساس زمان شروع سفر در روزهای تعطیل و غیر تعطیل کلاس‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال همه سفرهای انجام شده بین ساعت ۱ تا ۲ بامداد برای روزهای تعطیل و غیر تعطیل در دو کلاس قرار خواهند گرفت. گام بعدی کشف سفرها با مبدا و مقصد یکسان در هر کلاس خواهد بود، یعنی در هر کلاس مشخص می‌شود که چه تعداد سفر تکرار شده است. در مرحله آخر مبادی و مقاصد سفر دو محور متعامد تنسور را تشکیل می‌دهند و کلاس‌ها هم به عنوان مولفه زمان لایه‌های محور سوم تنسور را در بر می‌گیرند. نمایش هم‌ارز این اطلاعات در *GIS* به صورت تجمیع کلاس‌ها در ماتریس مبادی-مقاصد خواهد بود. از آنجایی که جهت حرکت سفر از مبدا به مقصد می‌باشد، لایه تولید شده برای محیط *GIS* باید از نوع بردار جهت دار باشد اما به دلیل حجم بالای سفر تفسیر پذیری این لایه سخت خواهد بود. به همین دلیل نمایش مکانی سفرها به دو لایه مبادی و مقاصد تقسیم می‌شود. همچنین در بررسی تنسورهای تولید شده اپراتور تفاضل به عنوان اصلی‌ترین ابزار قیاس بین تنسورها خواهد بود که این امکان را به وجود می‌آورد که تنسورهای اختلاف افزایش و کاهش درخواست‌ها را به نمایش بگذارد. بر این اساس تنسورهای تفاضل بین سال مورد بررسی و سال قبلتر تولید می‌شود تا میزان کاهش‌ها و افزایش‌ها در محلات در ساعات مختلف نسبت به سال گذشته در هر تنسور محاسبه گردد. ابعاد تمام تنسورها بر پایه ۸۰۹ مولفه در مبدا و مقصد و همچنین ۲۴ مولفه شامل ۲۴ ساعت از شبانه روز می‌باشد.

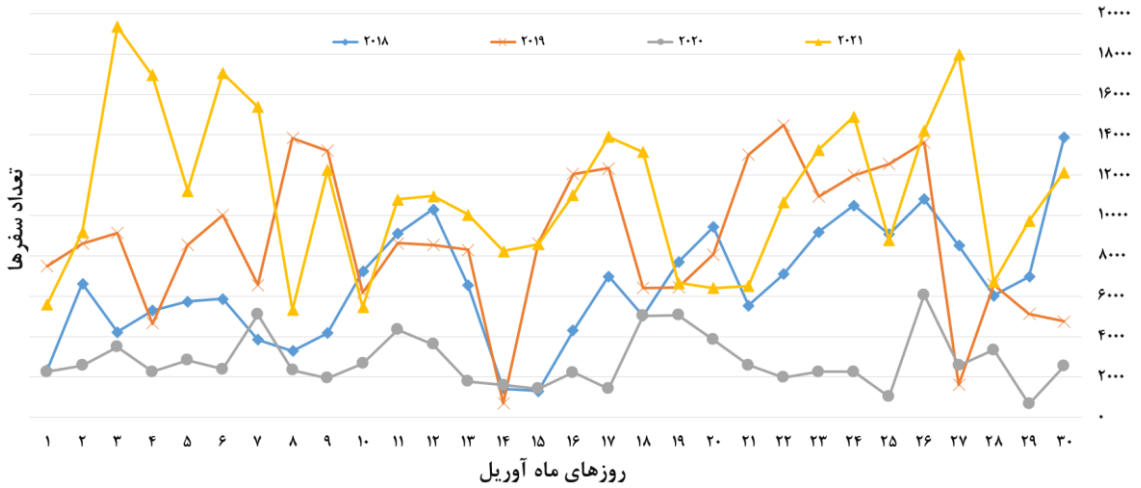
۳- ارزیابی عددی

این بخش شامل سه نوع تحلیل مختلف برای بررسی نتایج موجود این مطالعه است. در بخش اول تغییرات در تقاضای دوچرخه‌های اشتراکی در طول زمان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در بخش دوم تغییرات تقاضا در گستره شهر به صورت مکان‌مند بررسی می‌شود. در بخش سوم که هدف اصلی این مطالعه است تغییرات تقاضا به صورت مکانی-زمانی به صورت همزمان مورد بحث می‌باشد.

۳-۱- تحلیل زمانی

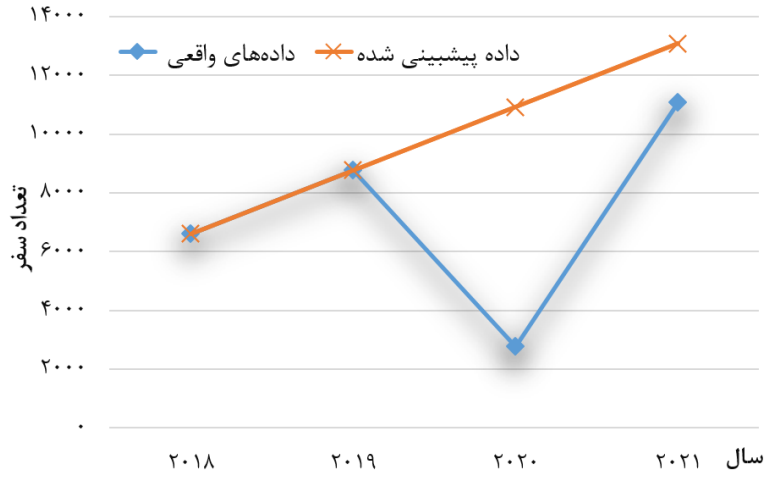
یکی از مهمترین شاخصه‌های سفرهای دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو تعداد سفر در طول زمان است. بر این اساس تعداد سفرهای صورت گرفته با استفاده از دوچرخه در طول زمان به عنوان یک متغیر می‌تواند مورد مطالعه قرار بگیرد. تعداد کل سفرها بر حسب روزهای ماه آوریل سال‌های ۲۰۱۸تا ۲۰۲۱ در شکل(۹) قابل مشاهده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۹: نمودار تعداد سفر بر اساس روز از ماه در ماه آوریل

در شکل (۹) تعداد کل سفرها توسط دوچرخه‌های اشتراکی بر اساس هر روز از ماه قابل مشاهده است. بیشترین تعداد سفر صورت گرفته در تحلیل انجام شده مربوط به سال ۲۰۲۱ با حدود ۱۹۳۶۰ سفر و کمترین تعداد نیز مربوط به سال ۲۰۲۰ با حدود ۶۴۰ سفر در روز می‌باشد. همچنین میانگین سفرها در سال ۲۰۲۱ برابر با ۱۱۰۸۰، در سال ۲۰۲۰ برابر با ۲۷۷۰، در سال ۲۰۱۹ برابر با ۸۷۷۰ و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۶۶۰۰ سفر در هر روز می‌باشد. با توجه به این اطلاعات و همچنین شکل (۱۰) می‌توان گفت تعداد سفرها برای سال ۲۰۲۰ که زمان گسترش کووید-۱۹ است، در مقایسه با سال‌های قبل و بعد خود کاهش داشته است. این میزان کاهش در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰ : برآورد میزان کاهش تعداد سفر در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱

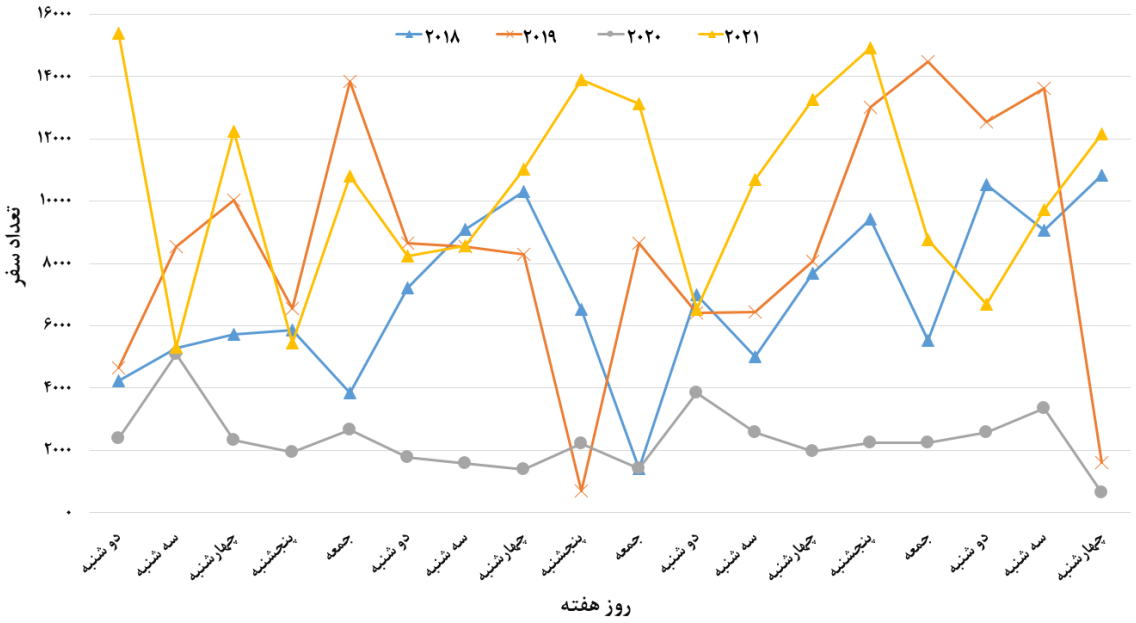
در شکل(۱۰) برای تعیین میزان کاهش تعداد سفر در سال ۲۰۲۰ که در شکل (۸) مشاهده گردید، از روند رشد آمار تعداد متوسط سفرها در روز برای ماه آوریل در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استفاده شده است. بر این اساس شیب رشد تعداد متوسط سفرها در سال ۲۰۱۹ به سال ۲۰۱۸، تعداد متوسط سفرها برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ را پیشبینی می‌کند. بر اساس این پیش‌بینی میزان سفرهای متوسط در سال ۲۰۲۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

عددی برابر با ۱۰۹۳۰ پیشبینی شده اما تعداد متوسط سفرهای به وقوع پیوسته در این سال برابر با ۲۷۷۰ سفر در روز بوده است و این بدین معنی است که به طور متوسط در هر روز ۸۱۶۰ سفر همراه با کاهش بوده است. همچنین این میزان متوسط کاهش در ماه آوریل برای سال ۲۰۲۱ نیز حدود ۲۰۰۰ سفر در روز می‌باشد. این درحالی است که روزهای هفته شامل روزهای تعطیل و غیرتعطیل می‌باشد. به این منظور تعداد سفرها بر حسب روز برای روزهای غیرتعطیل ماه آوریل در شکل (۱۱) به نمایش در آمده است.

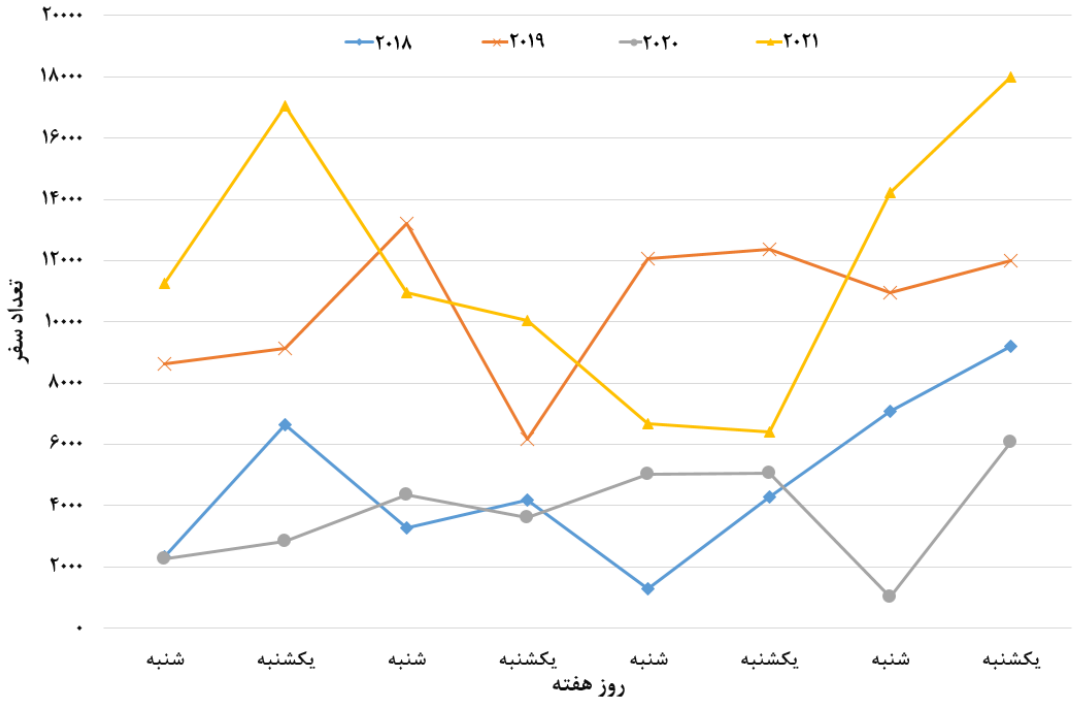
در شکل (۱۱) میزان استفاده روزانه از دوچرخه‌های اشتراکی در ماه آوریل برای روزهای غیرتعطیل به تصویر کشیده شده است. میانگین تعداد سفرها برای روزهای غیرتعطیل برای ماه آوریل سال ۲۰۱۸ برابر با ۶۹۲۰، برای سال ۲۰۱۹ برابر با ۸۵۹۰، برای سال ۲۰۲۰ برابر با ۲۳۵۰ و برای سال ۲۰۲۱ برابر با ۱۰۳۸۰ می‌باشد. بر این اساس تعداد میانگین سفرها در سال ۲۰۲۰ برای روزهای غیرتعطیل همانند آمار کلی اشاره شده در شکل (۷)، نشان می‌دهد نسبت به سال‌های قبل در استفاده از دوچرخه اشتراکی کاهش داشته است. همچنین این آمار برای روزهای تعطیل در شکل (۱۲) به نمایش درآمده است.

در شکل (۱۲) تعداد متوسط سفرهای انجام شده در روزهای تعطیل درماه آوریل نمایش داده شده است. طبق شکل (۱۲) تعداد متوسط آمار استفاده از دوچرخه برای روزهای تعطیل در سال ۲۰۱۸ برابر با ۴۷۸۰، برای سال ۲۰۱۹ برابر با ۱۰۵۷۰، در سال ۲۰۲۰ برابر با ۳۷۷۰ و سال ۲۰۲۱ برابر با ۱۱۸۲۰ می‌باشد. طبق این آمار نیز میزان استفاده از دوچرخه در سال ۲۰۲۰ در روزهای تعطیل کاهش پیدا کرده است.



شکل ۱۱: نمودار تعداد سفر بر اساس روز از هفته در ماه آوریل

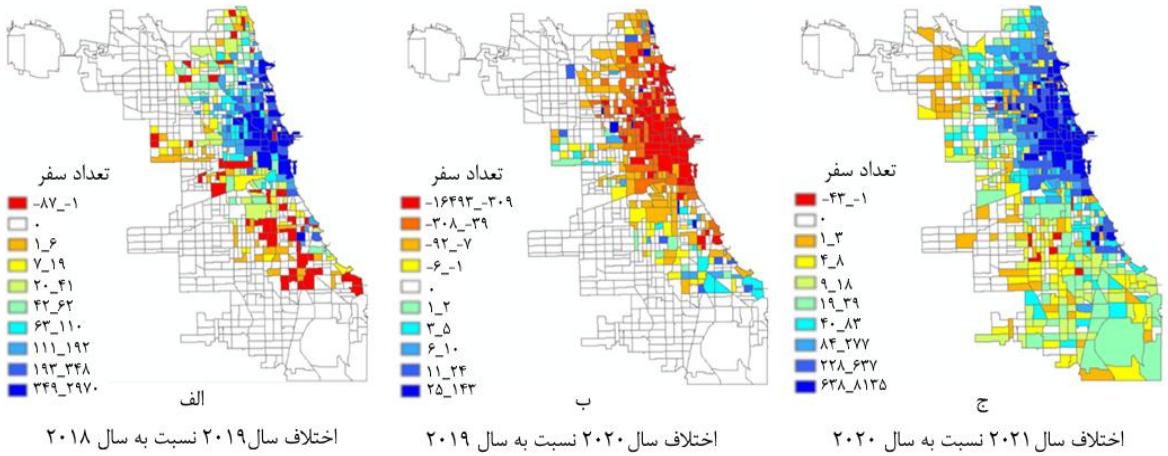
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۱۲ : نمودار تعداد سفر بر اساس روز از هفته در ماه آوریل

۳-۲- تحلیل مکانی

در این بخش داده‌های دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو از دید مکانی بررسی می‌گردد. این بررسی شامل نمایش میزان افزایش یا کاهش تعداد سفر در محلات می‌باشد که می‌تواند دید کاملی از میزان تغییرات سفر با تغییر محلات را نمایش دهد. شکل(۱۳) نمایشی از میزان تغییرات با استفاده از *GIS* می‌باشد.



شکل ۱۳: نمایش مکانی تغییرات درخواست سفر به عنوان مبادی در محلات

در شکل (۱۳) میزان افزایش و کاهش سفرها به عنوان مبادی در محلات بین سال‌های ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۲۱ نمایش داده شده است؛ قسمت الف میزان تغییرات در سفر برای سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸، در قسمت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

ب میزان تغییرات برای سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ و در قسمت ج میزان تغییرات برای سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۲۰ نمایش داده شده است. بر این اساس در سال ۲۰۱۹ بیشتر محلات نسبت به سال ۲۰۱۸ با افزایش تعداد سفر به عنوان مبدا همراه بوده است. همچنین در سال ۲۰۲۱ تعداد محلات مشارکت کننده در امر ارائه خدمات دوچرخه‌های اشتراکی نیز نسبت به سال ۲۰۲۰ همراه با افزایش بوده است. اما بیشتر سفرهای صورت گرفته در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ همراه با کاهش بوده است. در سال ۲۰۲۰ برخلاف سال‌های قبل و بعد آن، میزان سفرها در بیشتر محلات کاهش پیدا کرده است. همزمانی گسترش بیماری کووید-۱۹ در سال ۲۰۲۰ در ماه آوریل می‌تواند یکی از دلایل توجیه کاهش در میزان استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی در این شهر باشد.

در ادامه بخشی از نتایج موثر حاصل از تشکیل لایه‌های سیستم اطلاعات مکانی نیز به شرح زیر گزارش شده است. در جدول (۱) به بررسی بیشترین میزان افزایش-ها و کاهش‌ها در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸ در مبادی و مقاصد به عنوان هدف سفر پرداخته شده است. جدول (۱) شامل ۸ ستون می‌باشد که از سمت چپ به راست شماره ستون‌های فرد اطلاعات در مورد شماره محله و ستون‌های زوج میزان افزایش و کاهش سفرهای صورت گرفته در طول ماه آوریل را نمایش می‌دهند. بر این اساس بیشترین میزان افزایش سفر به عنوان مبدا و مقصد به ترتیب ۲۹۷۰ و ۳۲۱۴ سفر در ماه بوده است. این درحالی است که بیشترین کاهش در مبادی و مقاصد برابر با ۸۷ و ۷۲ سفر می‌باشد. در جدول (۱) به طور مشابه برای ۸۰۹ محله مشاهده می-شود که بیشتر محلات شهر شیکاگو به خصوص محلات مرکزی و شمالی با افزایش درخواست سفر همراه بوده است. در جدول (۲) به بررسی بیشترین میزان افزایش-ها و کاهش‌ها در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ در مبادی و مقاصد به عنوان هدف سفر پرداخته شده است.

جدول ۱: اختلاف اهداف سفر بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ برای ماه آوریل

میزان سفر	شماره مقاصد کاهش یافته	میزان سفر	شماره مقاصد افزایش یافته	میزان سفر	شماره مبادی کاهش یافته	میزان سفر	شماره مبادی افزایش یافته
۷۲	۷۹۶	۳۲۱۴	۶۰۵	۸۷	۶۴۵	۲۹۷۰	۶۰۵
۵۶	۶۰۶	۲۹۶۰	۶۷۵	۸۳	۹۶	۲۴۷۸	۶۷۵
۵۰	۱۰۸	۲۷۴۵	۲۱	۶۷	۱۰۸	۲۴۴۸	۲۱
۴۸	۲۱۸	۲۴۳۰	۷۵۵	۵۴	۷۹۶	۱۸۴۷	۷۵۵
۳۸	۲۰۲	۲۰۲۹	۷۵۸	۳۶	۲۰۲	۱۵۳۵	۷۵۸

جدول ۲: اختلاف اهداف سفر بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹ برای ماه آوریل

میزان سفر	شماره مقاصد کاهش یافته	میزان سفر	شماره مقاصد افزایش یافته	میزان سفر	شماره مبادی کاهش یافته	میزان سفر	شماره مبادی افزایش یافته
۱۷۷۲۸	۲۱	۱۴۹	۷۳۷	۱۶۴۹۳	۲۱	۱۴۳	۷۳۷
۱۲۳۲۱	۶۰۵	۱۱۵	۵۷۰	۱۱۴۶۹	۷۵۵	۹۱	۵۷۰
۱۱۵۹۰	۷۵۵	۱۰۲	۴۸۳	۱۰۹۴۵	۶۰۵	۸۶	۴۸۳
۸۷۲۶	۶۷۵	۹۲	۴۴۷	۷۷۷۱	۷۵۸	۸۲	۴۴۷
۷۹۷۸	۷۵۸	۴۹	۵۲۵	۷۶۰۸	۶۷۵	۴۴	۵۲۵

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

در جدول (۲) بیشترین میزان افزایش در مبادی و مقاصد به ترتیب ۱۴۳ و ۱۴۹ سفر در ماه می‌باشد. در حالی که بیشترین کاهش در مبادی و مقاصد به ترتیب ۱۶۴۹۳ و ۱۷۷۲۸ سفر است. در جدول (۲) به طور مشابه برای ۸۰۹ محله مشاهده می‌شود که برخلاف جدول (۱)، در بیشتر محلات کاهش در تعداد سفر رخ داده است. در جدول (۳) نیز به بررسی بیشترین میزان افزایش‌ها و کاهش‌ها در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۲۰ در مبادی و مقاصد به عنوان هدف سفر پرداخته شده است.

جدول ۳: اختلاف اهداف سفر بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ برای ماه آوریل

میزان سفر	شماره مقاصد کاهش یافته	میزان سفر	شماره مقاصد افزایش یافته	میزان سفر	شماره مبادی کاهش یافته	میزان سفر	شماره مبادی افزایش یافته
۴۹	۵۲۵	۸۵۴۸	۲۱	۴۳	۵۲۵	۸۱۳۵	۲۱
۴۰	۳۷۱	۸۵۳۷	۶۰۵	۳۹	۳۷۱	۸۱۰۰	۶۰۵
۲۳	۳۷۲	۷۱۸۰	۶۷۵	۲۲	۳۷۲	۶۶۵۴	۶۷۵
۹	۵۱۱	۴۹۸۲	۲۴۴	۱۹	۷۳۷	۵۰۴۴	۲۴۴
۷	۵۰۱	۴۹۱۱	۳۳۱	۷	۱۳۲	۴۴۹۹	۳۳۱

در طول سال ۲۰۲۱ بیشترین میزان افزایش سفر در محلات به عنوان مبدا و مقصد به ترتیب ۸۱۳۵ و ۸۵۴۸ سفر می‌باشد. همچنین بیشترین میزان کاهش برای مبادی و مقاصد نیز به ترتیب ۴۳ و ۴۹ سفر نمایش داده شده است. با تکمیل جدول (۳) برای ادامه محلات نیز مشاهده می‌شود که پس گذشت یک سال از گسترش کرونا در سال ۲۰۲۰، سفرها در بیشتر محلات در سال ۲۰۲۱ با افزایش سفر همراه است.

بر اساس مشاهدات انجام شده می‌توان گفت روند رشد در سال ۲۰۱۹ مثبت (افزایشی) بوده است. این افزایش را می‌توان معادل با رشد و توسعه صنعت دوچرخه‌های اشتراکی دانست. همچنین در سال ۲۰۲۰ بیشتر محلات هم به عنوان مبدا و هم به عنوان مقصد سفر با کاهش در سفر روبرو شده است. یکی از دلایل کاهش، همزمانی با شیوع و گسترش بیماری کووید-۱۹ و در پی آن کاهش علاقه‌مندی حضور مردم در سطح شهر و استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی می‌باشد. اما آمار استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی در محلات شیکاگو در سال ۲۰۲۱ با افزایش چشمگیر همراه بوده است. بروزرسانی و توسعه دوچرخه‌های اشتراکی و نیز عبور از مسئله بیماری کووید-۱۹ به واسطه واکسیناسون عمومی و افزایش ایمنی اجتماعی از جمله دلایل ترغیب مردم در افزایش علاقه‌مندی در استفاده از این سیستم حمل و نقل شهری بیان می‌گردد.

۳-۳- تحلیل مکانی-زمانی

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، تنسورها این قابلیت را فراهم می‌کنند که بتوان سفرهای انجام شده در شهر را در سطح محلات در ساعات مختلف بررسی و مقایسه کرد. این ویژگی منحصر به فرد تنسورها، علاوه بر امکان نمایش یکپارچه تمام سفرهای انجام شده، امکان مقایسه همزمان بین ساعات مختلف شبانه روز و محلات شهر را میسر می‌سازد.

اطلاعات کل سفرهای ماه آوریل برای سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به دو بخش روزهای تعطیل (شنبه و یکشنبه) و روزهای غیرتعطیل (دوشنبه تا جمعه) تقسیم می‌شوند. سپس سفرها برپایه ساعت شروع سفر، تنسور ماه آوریل برای هر سال را تشکیل می‌دهند. در این مرحله ۴ تنسور (هر سال یک تنسور) برای روزهای تعطیل و ۴ تنسور برای روزهای غیرتعطیل ایجاد می‌شود.

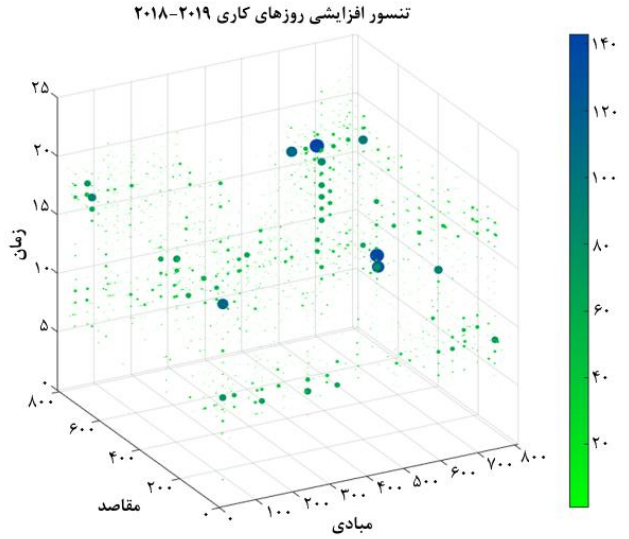
با ایجاد تفاضل بین سال‌های متوالی می‌توان میزان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

افزایش و کاهش درخواست نسبت به سال قبل را سنجید. بدین ترتیب تنسور اختلاف برای سال ۲۰۱۸-۲۰۱۹ ، ۲۰۱۹-۲۰۲۰ و ۲۰۲۰-۲۰۲۱ تشکیل خواهد شد. با انجام عملیات تفاضل در مجموع ۶ تنسور تفاضل برای روزهای تعطیل و غیر تعطیل تولید می‌شود. با در نظر گرفتن احتمال تولید اعداد منفی (کاهش درخواست) و مثبت (افزایش درخواست) تعداد تنسورهای اختلاف می‌تواند در بخش‌های مقادیر منفی و مثبت به صورت مستقل بررسی شوند که در این صورت در مجموع ۱۲ تنسور خواهد بود. در ادامه ابتدا تنسورهای نمایش‌دهنده شرایط افزایشی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس به بررسی کاهش تقاضا سفر بین سال‌های متوالی پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱- تحلیل مکانی-زمانی افزایشی

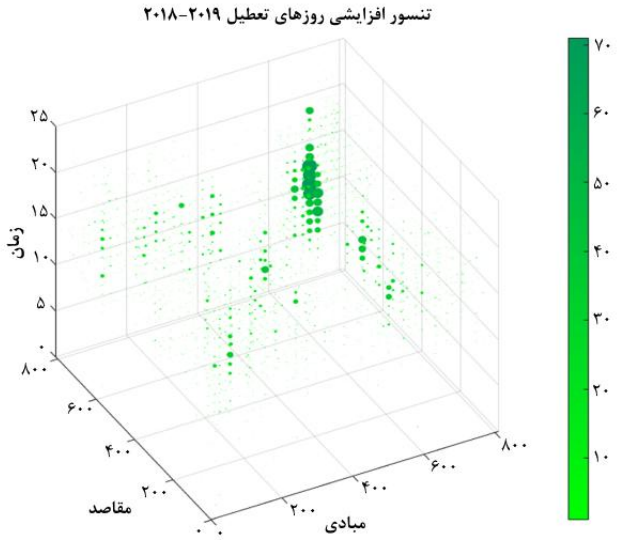
تنسورهای افزایشی بین دو سال متوالی نشان‌دهنده محلاتی هستند که در زمان‌های مختلف با رشد تقاضا روبرو بودند. از آنجایی که احتمال داده می‌شد که میزان و الگوی افزایش در روزهای تعطیل و غیرتعطیل ماه متفاوت باشد، در هریک از سال‌های مورد بحث دو تنسور مختلف برای بررسی توزیع افزایش تقاضاها نسبت به سال پیشین ایجاد شده است. شکل (۱۴) نمایش تنسور افزایشی اختلاف روزهای کاری بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ است. نقاط داخل تنسور میزان افزایش در ساعات مختلف و در سفرهای مختلف را به صورت تؤامان نشان می‌دهد. برای درک بهتر میزان افزایش سفرها، در تنسورهای تهیه شده علاوه بر تغییر رنگ، از تغییر سایز نقاط متناسب با میزان افزایش استفاده شده است.



شکل ۱۴: تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸

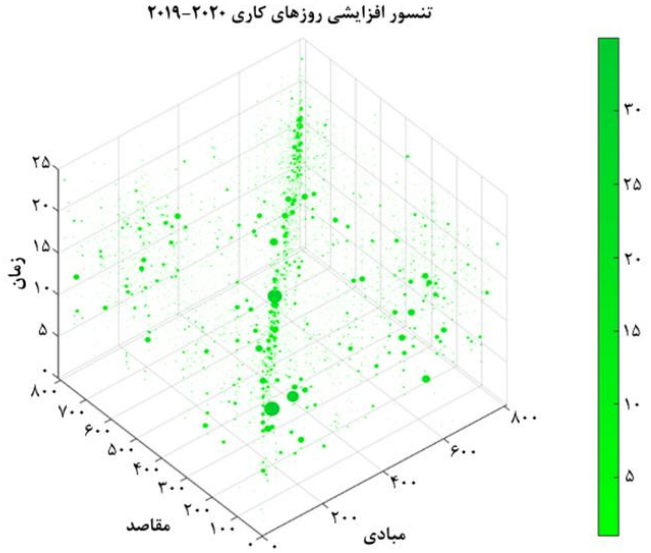
میزان بیشینه افزایش سفر در این تنسور نسبت به سال ۲۰۱۸، ۱۴۰ سفر بوده است. در ساعات اوج مصرف صبح یعنی ۷ تا ۹ و عصر یعنی ۱۶ تا ۱۸، افزایش سفرها به نسبت سایر ساعات شبانه روز بیشتر است. در محله با ID شماره ۶۰۵ در بیشتر ساعات روز، افزایش سفرها نسبت به سال گذشته مشاهده می‌شود. در شکل (۱۵) تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ به نمایش درآمده است. افزایش سفرهای روزهای تعطیل در محدوده خاصی در این تنسور هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی چشمگیر است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۱۵ : تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸

در سال ۲۰۱۹، پراکندگی افزایش سفرها در روزهای تعطیل نسبت به روزهای کاری کمتر است. از نظر زمانی برخلاف روزهای کاری، ساعت اوج صبح و عصر به صورت جداگانه قابل تشخیص نیست بلکه از ساعت ۹ تا ۲۰ شب توزیع زمانی سفرها رو به افزایش است که نشان‌دهنده الگوی متفاوت استفاده در روزهای تعطیل است. شکل (۱۶) نیز میزان سفرهای افزایشی در سال ۲۰۲۰ که پدیده کرونا در شهر شیکاگو گسترش یافت را نسبت به سال ۲۰۱۹ برای روزهای کاری نمایش می-دهد.

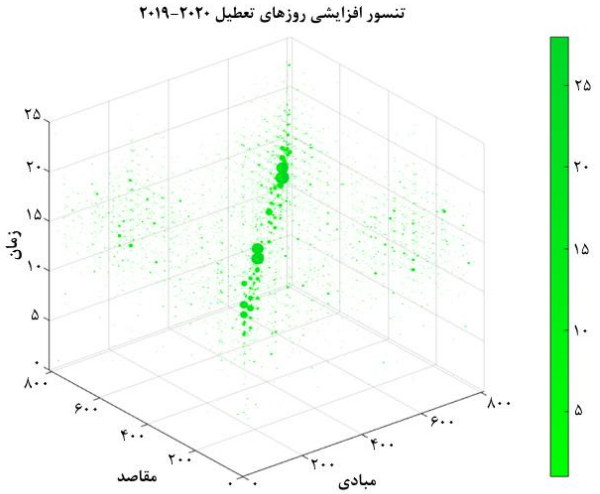


شکل ۱۶: تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹

در شکل (۱۶) می‌توان افزایش سفرهای روی قطر تنسور را بیشتر دانست اما بعضی از محلات نیز که بر روی قطر نبوده است دارای افزایش بوده‌اند. در شکل(۱۷) افزایش سفر در روزهای تعطیل در سال

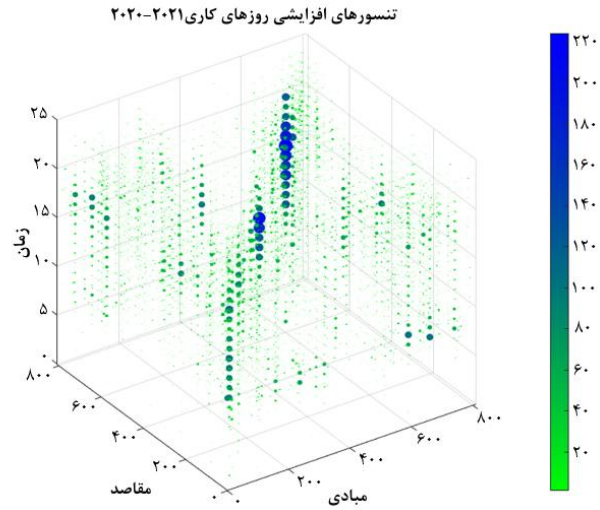
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

۲۰۲۰ نسبت به ۲۰۱۹ به نمایش درآمده است. سال ۲۰۲۰، دوره شیوع کووید-۱۹ و قرنطینه در شهر شیکاگو است. با این حال در بعضی از سفرها، به ویژه سفرهای دارای محله مبدا و مقصد یکسان، افزایش سفرها قابل مشاهده است.



شکل ۱۷: تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹

همچنان که از شکل (۱۷) مشخص است، در قطر تنسور فوق افزایش سفرها نسبت به سایر سفرهای صورت گرفته بین مبادی و مقاصد مختلف چشمگیرتر می‌باشد. از لحاظ زمانی از ۹ تا ۲۰ شب افزایش سفرها توزیع شده است و تنسور از الگوی زمانی روزهای تعطیل پیروی می‌کند. در مجموع می‌توان در نظر داشت که الگوی سفر در سال شیوع کرونا دچار تغییراتی شده است. از جمله اینکه سفرهای دارای مبدا و مقصد یکسان رشد داشتند. شکل (۱۸) تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد.

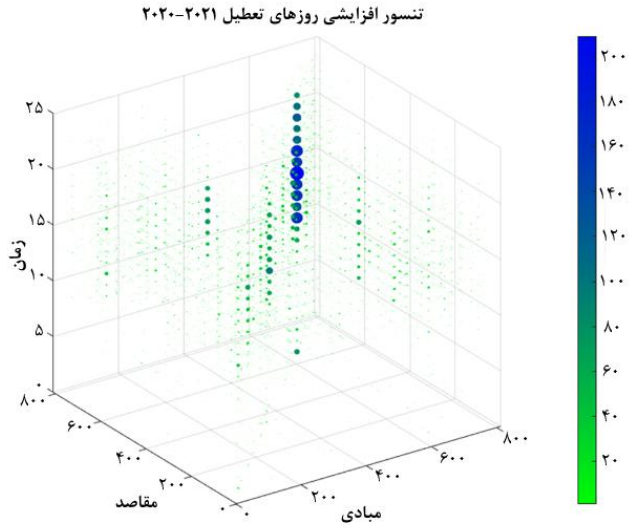


شکل ۱۸: تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود که ساعات اوج صبح و عصر روزهای کاری به طور کلی رشد سفر بیشتری داشتند. محله ۶۰۵ و ۳۳۱ بیشترین میزان رشد در تنسور را دارند. پراکندگی مکانی و زمانی افزایش سفرها در این تنسور هم به صورت زمانی و هم به صورت مکانی زیاد است. همچنین تقارن نسبی بین مبدا و مقصد در ساعات صبح و عصر وجود دارد. به این معنی که برخی محلات در ساعات اوج صبح به عنوان مبدا، افزایش سفر زیادی داشتند و در ساعات اوج عصر به عنوان مقصد دچار افزایش سفر شدند.

شکل (۱۹) تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. در این تنسور همچنان توزیع زمانی اوج تغییرات از ۹ صبح تا ساعت ۲۰ است. مانند روزهای کاری سال ۲۰۲۱، در محله ۶۰۵ رشد قابل ملاحظه سفرها مشاهده می‌شود این در حالی است که در سال ۲۰۲۰ این محله با کاهش سفر همراه بوده است. برخی از محلات دارای رشد یکنواخت در طول ساعات اوج مصرف هستند به ویژه سفرهایی که بر روی قطر تنسور وجود دارد.

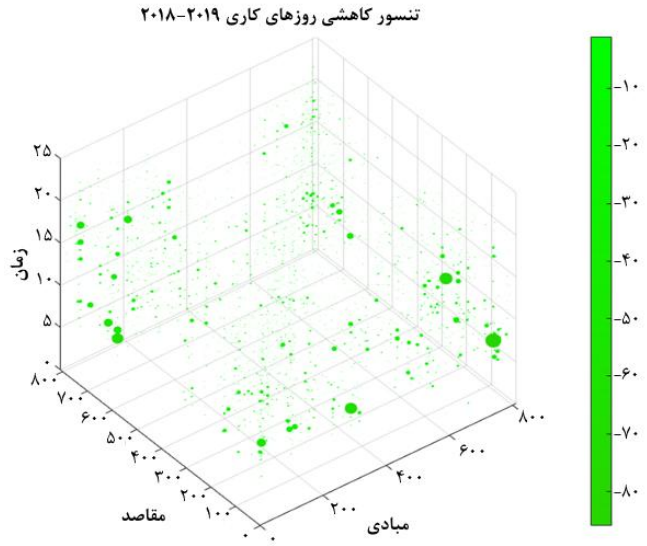


شکل ۱۹: تنسور افزایشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰

۳-۳-۲- تحلیل مکانی-زمانی کاهشی

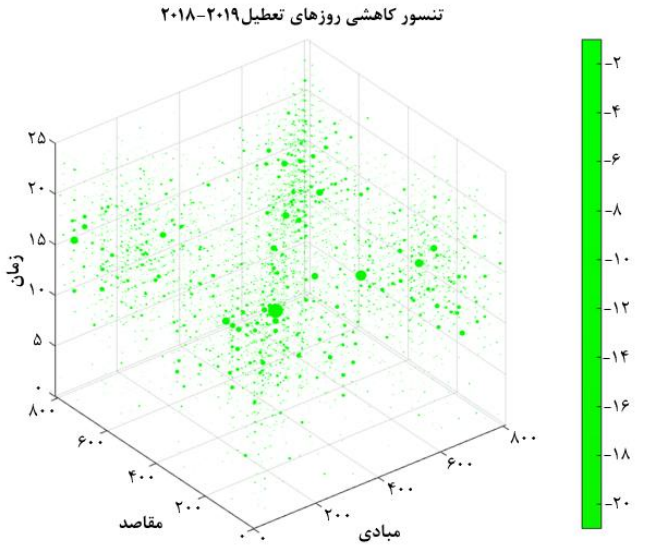
تنسورهای کاهشی بین دو سال متوالی نشان‌دهنده محلاتی هستند که در زمان‌های مختلف با کاهش تقاضا روبرو بودند. از آنجایی که احتمال داده می‌شد که میزان و الگوی افزایش در روزهای تعطیل و غیرتعطیل ماه متفاوت باشد، در هریک از سال‌های مورد بحث دو تنسور مختلف برای بررسی توزیع افزایش تقاضاها نسبت به سال پیشین ایجاد شده است. در عناوین هریک از شکل‌های نمایش داده شده، حرف اول بیان‌کننده کاهش (D)، حرف دوم بیانگر روزکاری (W) یا تعطیل (H)، عدد اول بیانگر سال مورد بررسی و عدد دوم سال پیشین که مقایسه با آن انجام می‌شود را نشان می‌دهد. در شکل(۲۰) کاهش سفرها در روزهای کاری سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸ به تصویر کشیده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۲۰: تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸

شکل(۲۰) بیانگر این است که نمی‌توان الگوی خاص مکانی برای کاهش‌های این تنسور در نظر گرفت. ساعات ۷ تا ۹ صبح و ساعات ۱۶ تا ۱۸ بیشترین مقادیر کاهش سفر مشاهده می‌شود. این ساعات در شکل (۱۴) نیز بیشترین مقدار افزایش را داشت که نشان می‌دهد. هم کاهش و هم افزایش سفرها نسبت به سال ۲۰۱۸ در محدوده زمانی یکسانی رخ داده اما از نظر مبادی و مقاصد سفر متفاوت است.

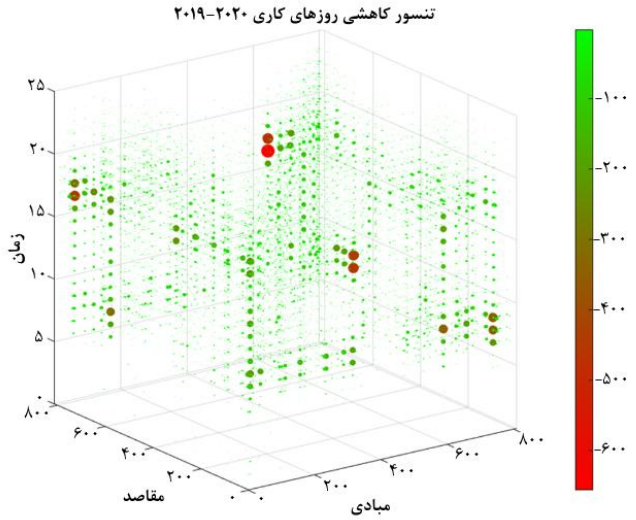


شکل ۲۱ : تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸

در شکل (۲۱) کاهش سفرها نسبت به سال ۲۰۱۸ هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی الگوی مشخصی ندارد و پراکندگی مکانی و زمانی آن زیاد است، درحالی که در مقایسه با شکل (۱۵)، در روزهای تعطیل سال ۲۰۱۹ افزایش سفرها در بعضی محلات متراکم بود. شکل (۲۲) تنسور کاهشی اختلاف سفرهای بین سال

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

۲۰۲۰ نسبت به ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد که می‌توان یکی از مهم‌ترین شکل‌های پژوهش حاضر دانست. با وقوع پدیده کووید-۱۹ در آوریل سال ۲۰۲۰، سفرهای کاری دستخوش تغییراتی شده است.



شکل ۲۲ : تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹

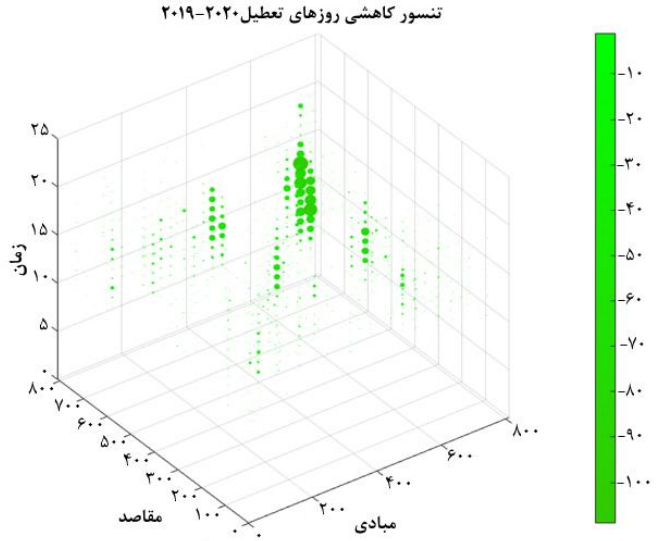
همانطور که در شکل (۲۲) قابل مشاهده است، پراکندگی زمانی و مکانی و میزان کاهش در این تنسور نسبت به سایر تنسورهای بررسی شده، بیشتر است. برخی از محلات در تمام ساعات شبانه روز با کاهش یکنواخت سفر همراه هستند در حالی که برخی از لحاظ زمانی، در ساعات اوج مصرف یعنی ۷ تا ۹ و ۱۶ تا ۱۸ دارای کاهش زیادی بوده‌اند. همچنین نکته قابل توجه در تنسور حاضر، تقارن بین مبادی و مقاصد در ساعات اوج صبح و عصر است. یعنی برخی محلات مانند محلات با *ID* ۱ تا ۴۰۰ در ساعات اوج صبح به عنوان مبدا با کاهش همراه بوده است در حالی که همین محلات در ساعات اوج عصر به عنوان مقصد با کاهش همراه هستند که این الگو در چند قسمت تنسور تکرار می‌شود.

شکل(۲۳) میزان کاهش سفرهای روزهای تعطیل در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ را در روزهای تعطیل نمایش می‌دهد. برخلاف اینکه در بررسی افزایش سفرهای روزهای تعطیل این سال، توزیع قطری در شکل (۱۷) مشاهده شد اما اینجا دیگر توزیع قطری صادق نیست.

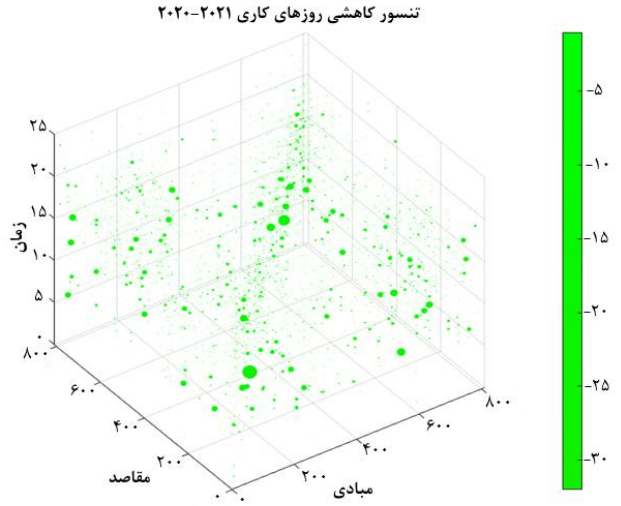
در سال ۲۰۲۰ نیز الگوی زمانی تغییرات سفرها مانند سایر روزهای تعطیل از ۹ صبح تا ۲۰ شب است. بعضی از محلات دارای تغییرات چشمگیرتری نسبت به سایر محلات هستند که از جمله می‌توان به محله ۶۰۵ اشاره کرد. در واقع این محله در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ دارای افزایش زیادی در سفرهای خود بوده، در حالی که در سال شیوع کووید-۱۹ سفرها در آن کاهش داشته است.

در شکل (۲۴) تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ نمایش داده شده است. شکل (۲۴) از لحاظ سفرهای بین مبادی ومقاصد نکته خاصی را نشان نمی‌دهد اما از لحاظ زمانی بین ۷ تا ۹ صبح میزان کاهش‌ها بیشتر بوده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]



شکل ۲۳ : تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹



شکل ۲۴ : تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای کاری بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰

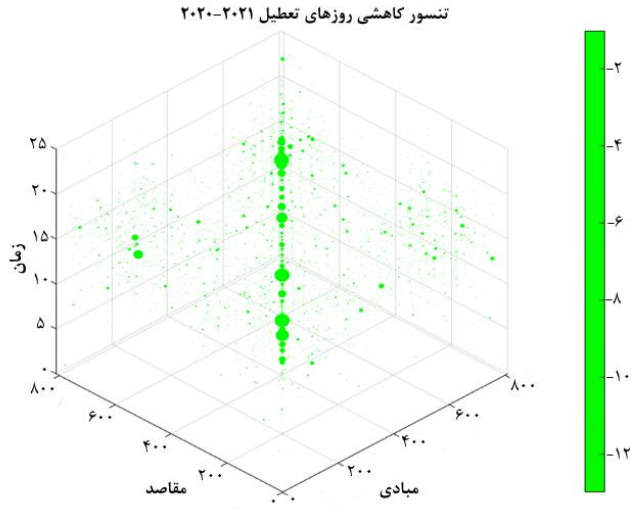
در شکل(۲۵) تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ نمایش داده شده است. برای اولین بار کاهش سفرها به صورت قطری مشاهده می‌شود که با توجه به رشد سفرهای دارای مبدا و مقصد یکسان در سال شیوع کرونا (شکل (۱۷)) توجیه‌پذیر است. البته میزان این کاهش‌ها در بیشترین حالت به ۱۳ سفر می‌رسد که نسبت به سایر تنسورهای کاهشی چندان زیاد نیست. همچنین الگوی زمانی روزهای تعطیل در این تنسور نیز تکرار شده است.

محلاتی که در تنسورهای بررسی شده دارای تغییرات بیشتری بودند را می‌توان محلات با شماره ۲۱، ۶۰۵، ۶۷۵، ۲۴۴ و ۳۳۱ دانست. محلات مهم در شکل(۲۶) در محدوده شهری قابل مشاهده هستند.

در شکل (۲۶) تعداد ۱۰ محله مهم که بیشترین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

کاهش‌ها و افزایش‌ها در آن‌ها رخ داده به نمایش در آمده است. محلات ۲۱ و ۶۰۵ مرتبط به محدوده مرکزی شهر شیکاگو می‌باشد و خیابان‌های مهم این شهر به آنجا متصل می‌شوند.



شکل ۲۵ : تنسور کاهشی اختلاف سفرهای روزهای تعطیل بین سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰



شکل ۲۶: محدوده محله‌های مهم در شهر شیکاگو

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه داده‌های دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو برای سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در ماه آوریل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. داده مورد مطالعه شامل دو بخش مکانی شامل محل شروع و پایان سفر و نیز زمانی شامل زمان شروع و پایان سفر بود. برای مشاهده تاثیر کووید-۱۹ در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی سه دیدگاه تحلیل زمانی، تحلیل مکانی و تحلیل توام مکانی و زمانی برای این داده‌ها مورد تاکید قرار گرفت.

در تحلیل‌های زمانی مشخص گردید که میانگین تعداد سفرهای صورت گرفته در طول یک ماه بر حسب سفر در هر روز سال ۲۰۲۰ به نسبت سال‌های بعد و قبلی خود همراه با کاهش بوده است. این در حالی است که در سفرهای روزهای تعطیل سال ۲۰۲۰ رشد تقاضای سفر نیز مشاهده می‌شود. با ثابت در نظر گرفتن روند رشد استفاده از دوچرخه در سال ۲۰۱۹ به ۲۰۱۸، نشان داده شد که بر اساس پیشبینی در سال ۲۰۲۰ به طور میانگین روزانه ۸۱۶۰ سفر در استفاده از دوچرخه-های اشتراکی کاهش پیدا کرده است. برای درک دقیق‌تر میزان تاثیر کووید-۱۹ بر روی استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی، سفرهای روزهای تعطیل و معمولی از هم به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت. بر این اساس میزان کاهش برای روزهای تعطیل ۶۴٫۳ درصد و برای روزهای غیرتعطیل ۷۲٫۶ درصد برآورد شد.

تحلیل‌های مکانی نیز کاهش سفر در بیشتر محلات شیکاگو را در سال ۲۰۲۰ تایید کرد. این در حالی بود که در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ میزان سفرها نسبت به سال قبلی خود در بیشتر محلات به ویژه محله‌های واقع در مرکز و محدوده شمالی شهر با افزایش روبرو بوده است.

برای انجام تحلیل‌های مکانی-زمانی نیز از ابزار ریاضی و هندسی تنسور مورد استفاده قرار گرفت. این ابزار قادر ساخت که میزان سفرها از مبادی به مقاصد در ساعات مختلف از روز را به نمایش در آورد. در حالی که روش‌های زمین آماری به طور غالب به منظور بررسی کل سیستم دوچرخه‌های اشتراکی استفاده می‌شوند اما روش ارائه شده در پژوهش حاضر امکان تفکیک بین محلات شهر در ساعات مختلف شبانه روز را فراهم کرده است. تنسور مرتبط با سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که محلات به عنوان مبدا و مقصد تعداد سفرهای کمتری را نسبت به سال ۲۰۱۹ تجربه می‌کنند. بررسی پیوستگی در کاهش استفاده از دوچرخه در سال ۲۰۲۰ و افزایش در سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد که بیماری کووید-۱۹ در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی شهر شیکاگو موثر بوده است. این ابزار نشان می‌دهد که در ماه آوریل ۲۰۲۰ دو رخ داد در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی به وقوع پیوسته است. اول آن که مرکزیت کاهش‌ها در روزهای غیرتعطیل در سفرها در ساعات آغازین و پایانی روز رخ داده است. مبادی سفرهایی که کاهش را در ساعات آغازین روز تجربه کرده‌اند همان مقاصدی هستند که در ساعات پایانی روز کاری کاهش سفر را تجربه کرده‌اند. و دومین رخداد در این سال تمایل به انجام سفرها با مبادی و مقاصد یکسان بوده است.

در واقع در این مطالعه نشان داده شد که هر سه نوع تحلیل زمانی، مکانی و مکانی-زمانی تاثیر یک عامل مثل کووید-۱۹ را توانستند در استفاده از دوچرخه‌های اشتراکی نشان دهند. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها می-تواند مکمل هم باشند به شکلی که در تفسیر نتایج هم کمک کنند. نتایج زمانی نشان داد که در ماه آوریل سال ۲۰۲۰ میزان کاهش در روزهای غیرتعطیل بیشتر از روزهای تعطیل بوده است. همچنین تنسور توانست به خوبی نشان دهد که این کاهش ها در چه ساعتی از روز و از کدام مبادی به کدام مقاصد اتفاق افتاده است.

طبق بررسی‌های انجام شده از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱، روند کلی سفرها در روزهای تعطیل افزایشی است اما در سال ۲۰۲۰ به علت وقوع پدیده کرونا، کاهش چشمگیر سفرها مشاهده می‌شود، در حالی که اگر این

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

پدیده رخ نمی‌داد روند افزایشی سفرها حفظ می‌شد. بعد از پایان دوره قرنطینه کرونا درسال ۲۰۲۱ مجددا میزان سفرها رشد پیدا می‌کنند. در روزهای تعطیل سال ۲۰۲۱، سفرها به صورت متراکم بین بعضی از محلات به طور فزاینده‌ای رشد داشته است در حالی که همین محلات در سال ۲۰۲۰ با کاهش چشمگیر سفرها روبرو بوده‌اند. در روزهای تعطیل سال‌های مورد بررسی سفرهایی که محله مبدا و مقصد آن یکسان است، به نسبت سایر سفرها سهم قابل توجهی دارند. در حالی که در بررسی روند کلی سفرها روزهای عادی از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۲۱ چنین پدیده‌ای مشاهده نمی‌شود. سفرهای صورت گرفته در روزهای کاری سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ الگوهای مکانی و زمانی یکسانی دارند اما در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ اینگونه نیست. در سال ۲۰۲۰ پدیده کرونا باعث کاهش تقاضای سفرها گشته و بعد از پایان قرنطینه رشد سفرهای سال ۲۰۲۱ دیگر مشابه سال‌های قبل از کووید-۱۹ نیست.

پیشنهاد می‌شود برای بهبود نتایج حاصل از پژوهش حاضر، اثرات سایر معیارهای تاثیرگذار در تقاضا نظیر آب و هوا، گسترش محدوده تحت پوشش دوچرخه‌های اشتراکی و افزایش کمیت و کیفیت دوچرخه‌ها نیز همزمان با اثر کووید-۱۹ بررسی شود. همچنین می‌توان با در نظر گرفتن کاربری‌های اراضی موجود در شهر، میزان تغییرات قبل و بعد از شیوع کووید-۱۹ را بر انواع کاربری اراضی را بررسی نمود. یکی دیگر از مواردی که می‌تواند منجر به بهبود خروجی‌های تنسور شود، استفاده از خوشه‌بندی محلات بر اساس میزان کاهش و افزایش سفرها است. همچنین پیشنهاد می‌شود از قابلیت‌های متعدد تنسور از جمله تجزیه تنسوری در تحلیل مکانی-زمانی پدیده‌های مختلف استفاده شود.

مراجع

[1] X. Li and D. K. Dey, "Estimation of COVID-19 mortality in the United States using Spatio-temporal Conway Maxwell Poisson model." Spatial Statistics, vol. 49, p. 100542, 2022.

[2] W.-L. Shang, J. Chen, H. Bi, Y. Sui, Y. Chen, and H. Yu, "Impacts of COVID-19 pandemic on user behaviors and environmental benefits of bike sharing: A big-data analysis." Applied Energy, vol. 285, p. 116429, 2021.

[3] S. Hu, C. Xiong, Z. Liu, and L. Zhang, "Examining spatiotemporal changing patterns of bike-sharing usage during COVID-19 pandemic." Journal of Transport Geography, vol. 91, p. 102997, 2021.

[4] J. F. Teixeira, C. Silva, and F. Moura e Sá, "The motivations for using bike sharing during the COVID-19 pandemic: Insights from Lisbon," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 82, pp. 378–399, 2021.

[5] L. R. de A. Morais and G. S. da S. Gomes, "Applying Spatio-temporal Scan Statistics and Spatial Autocorrelation Statistics to identify Covid-19 clusters in the world - A Vaccination Strategy?," Spatial and Spatio-temporal Epidemiology, vol. 39, p. 100461, 2021.

[6] X. Chai, X. Guo, J. Xiao, and J. Jiang, "Analysis of Spatial-temporal Behavior Pattern of the Share Bike Usage during COVID-19 Pandemic in Beijing." arXiv, 2020.

[7] J. Chibwe, S. Heydari, A. Faghih Imani, and A. Scurtu, "An exploratory analysis of the trend in the demand for the London bike-sharing system: From London Olympics to Covid-19 pandemic," Sustainable Cities and Society, vol. 69, p. 102871, 2021.

[8] S. Bai and J. Jiao, "Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: A comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN," Travel Behaviour and Society, vol. 20, pp. 264–272, 2020.

[9] H. Yang, Y. Zhang, L. Zhong, X. Zhang, and Z. Ling, "Exploring spatial variation of bike sharing trip production and attraction:

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

A study based on Chicago's Divvy system," Applied Geography, vol. 115, p. 102130, 2020.

[10] X. Zhou, "Understanding Spatiotemporal Patterns of Biking Behavior by Analyzing Massive Bike Sharing Data in Chicago," PLOS ONE, vol. 10, no. 10, p. e0137922, 2015.

[11] G. McKenzie, "Docked vs. Dockless Bike-sharing: Contrasting Spatiotemporal Patterns (Short Paper)," Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik GmbH, Wadern/Saarbruecken, Germany, 2018.

[12] J. Song, L. Zhang, Z. Qin, and M. A. Ramli, "Spatiotemporal evolving patterns of bike-share mobility networks and their associations with land-use conditions before and after the COVID-19 outbreak," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 592, p. 126819, 2022.

[13] Y. Yan, Y. Tao, J. Xu, S. Ren, and H. Lin, "Visual analytics of bike-sharing data based on tensor factorization," Journal of Visualization, vol. 21, no. 3, pp. 495–509, 2018.

[14] H. Tang, S. Fei, and X. Shi, "Revealing Travel Patterns from Dockless Bike-sharing Data Based on Tensor Decomposition," in Proceedings of the 12th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction, 2019.

[15] B. Du, M. Zhang, L. Zhang, R. Hu and D. Tao, "PLTD: Patch-Based Low-Rank Tensor Decomposition for Hyperspectral Images," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 19, no. 1, pp. 67-79, 2017.

[16] L. Sun and K. W. Axhausen, "Understanding urban mobility patterns with a probabilistic tensor factorization framework," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 91, pp. 511–524, 2016.

[17] S. Rabanser, O. Shchur, and S. Günnemann, "Introduction to Tensor Decompositions and their Applications in Machine Learning." arXiv, 2017.

[18] C. Lin, Q. Zhu, S. Guo, Z. Jin, Y.-R. Lin, and N. Cao, "Anomaly detection in spatiotemporal data via regularized non-negative tensor analysis," Data Mining and Knowledge Discovery, vol. 32, no. 4, pp. 1056–1073, 2018.

[19] J. An, Y. Song, Y. Guo, X. Ma, and X. Zhang, "Tensor Discriminant Analysis via Compact Feature Representation for Hyperspectral Images Dimensionality Reduction," Remote Sensing, vol. 11, no. 15, p. 1822, 2019.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.10, No.3, Autumn 2022

Research Paper

Spatio-temporal analysis of the impact of covid-19 on the use of chicago urban shared bicycles with a tensor-based approach

Mostafa Golmohammadi [1], Hossein Etemadfard[2]*, Hamed Kharaghani[1]

1- Ms.c student of GIS in Department of Civil Engineering, College of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
2- Assistant professor in Department of Civil Engineering, College of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Cycling is a phenomenon in urban transportation that has the ability to allocate a specific location at any moment of time. Accordingly, spatial analysis of bicycle trips can be accompanied by temporal analysis. Commonly, the use of GIS environment is recommended to display the extent of the phenomenon's spatial changes. However, in order to apply and display changes over time, it requires the production of other layers of information. In this study, it is possible to simultaneously display the spatial and temporal information by tensor concept and tool. Using this tool, the abilities of displaying and analyzing a high volume of spatial information with the power of temporal resolution are created due to the simultaneous representation of the information layers. This study tries to investigate the spatial and temporal analyses at the same time by using the concept of tensor in order to understand how users request Chicago's shared bikes at different times of the day. In fact, this research analyzes the spatial and temporal distribution of the shared bike trips simultaneously. In addition, the number of bicycle trips over time, along with the amount of reduction and increase in trips from different neighborhoods, are studied separately from a spatial point of view. The results of this study show that the April 2020 coronavirus outbreak in Chicago resulted in a 68.4% decrease in the use of shared bicycles in the city compared to the same period of time in 2019. A more detailed survey showed that, the city experienced a 64.3% decrease for the holidays of this month and 72.6% on normal and non-holiday days. Spatial attitude also shows that in April 2020, the central neighborhoods experienced the greatest reduction in the use of shared bicycles. In addition, after the spread of the disease, requests to use bicycles from the same origins and destinations have increased.

Key words: *Coronavirus, Tensor, Bike Sharing, Spatio-Temporal Analysis, GIS.*

Correspondence Address *: Geospatial Information Systems Group, Department of Civil, College of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.*
Tel*: +98 51 388054430.*
Email*: etemadfard@um.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.3.5.3]
[DOI: 10.52547/jgit.10.3.95]