فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۶، شماره ۳، بهار ۱۴۰۴، ص. ۴۶۲۶-۴۶۰۵

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد تقاضای سفر بین‌شهری با استفاده از داده‌های تلفن همراه (مطالعه موردی: شهرستان‌های تهران و شهریار)

سیاوش طاهری نوید، کارشناس ارشد، گروه مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران

افشین شریعت مهیمنی (مسئول مکاتبات)، استاد، گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران

E-mail: shariat@iust.ac.ir

مهدی‌یار درویش‌زاده کاخکی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

امروزه سازمان‌ها و نهادهای گوناگون با توجه به نیازهای موجود، به‌طور پیوسته در حال ثبت و نگهداری حجم انبوهی از داده‌ها هستند که موجب پیدایش منابعی غنی از کلان داده‌ها شده است. در سال‌های اخیر با توجه به مطالعات وسیع صورت گرفته بر روی کلان داده‌ها، این امکان فراهم‌شده است که به‌صورت مؤثر در زمینه‌های مختلف برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و استخراج پارامترهای مربوط به سفر افراد مورداستفاده قرار گیرند. در همین راستا، توسعه و فراگیری سریع شبکه‌های مخابراتی و از طرفی افزایش ضریب نفوذ تلفن همراه موجب ایجاد منابعی از داده‌های ارزشمند در خصوص جابجایی افراد بین مکان‌های مختلف و در بازه‌های زمانی گوناگون شده است. به همین جهت، در این پژوهش تلاش شده است که با به‌کارگیری داده‌های ثبت‌شده کاربران تلفن همراه، برآورد تقاضای سفر بین دو شهرستان تهران و شهریار به تفکیک اهداف گوناگون صورت گیرد. برای این منظور، مبدأ و مقصد سفرها از طریق الگوریتم‌های خوشه‌بندی مکانی-زمانی شناسایی و همچنین با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی مرتبط، محل فعالیت‌های اصلی افراد مشخص شدند. یکی از وجوه تمایز این مطالعه، استفاده از رویکرد دومرحله‌ای برای تعمیم جابجایی‌ها بر اساس جمعیت شهرستان‌ها و ضریب نفوذ تلفن همراه است. در ادامه به‌منظور ارزیابی نتایج، الگوهای جابجایی برآوردشده بین شهرستان‌های موردمطالعه از استان تهران با داده‌های ترددشمارها مقایسه شده است که نتایج آماری معنادار ضرایب همبستگی پیرسون بیش از ۰/۹ و P-value کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده این امکان وجود دارد که از داده‌های تلفن همراه در تحلیل‌های حمل‌ونقلی ازجمله برآورد تقاضای سفر بین مبادی و مقاصد مختلف در سطح کلان و با ضریب اطمینان بالا بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: تقاضای سفر، داده تلفن همراه، کلان داده

۱. مقدمه

برآورد تقاضای سفر یکی از مسائل اساسی در مطالعات حمل‌ونقلی به شمار می‌رود چراکه می‌تواند به دستگاه‌های اجرایی و مسئول در تأمین و توسعه زیرساخت‌ها در سطوح خرد و کلان، برای شناخت وضع موجود و پیش‌بینی نیازهای آینده یاری رساند. رسیدن به این مقصود، نیازمند داده‌هایی از قبیل تعداد سفر افراد در ساعت‌های مختلف روز است که رویکرد متداول برای جمع‌آوری این‌گونه داده‌ها از گذشته، پرسشگری خانوار و آماربرداری میدانی بوده است. روش‌های سنتی مذکور، به لحاظ دارا بودن اطلاعات و جزئیات نسبتاً کامل اجتماعی-اقتصادی افراد مورد پرسشگری، جزو منابع داده پرکاربرد توسط تحلیلگران حمل‌ونقلی هستند که همچنان از محبوبیت بالایی برخوردارند. این منابع داده معایبی نیز دارند؛ مانند زمان و هزینه زیاد جهت آماربرداری، وجود وقفه طولانیِ اجتناب‌ناپذیر بین دو آماربرداری متوالی و نمونه موردمطالعه کوچک. این موارد موجب می‌شوند که مطالعات بر پایه داده‌های حاصل از پرسشگری قادر نباشند تغییرات مداوم در متغیرهای سفرهای بین نواحی (مانند تعداد و نرخ سفر) را به‌خوبی منعکس کنند.

یکی از موارد پیشنهادی برای رفع محدودیت‌ها و کاهش خطای احتمالی در روش‌های مبتنی بر پرسشگری، به‌کارگیری داده‌هایی است که به‌صورت متناوب توسط سازمان‌های مختلف در احجام بالا ثبت و نگهداری می‌شوند که به کلان داده‌ها معروف هستند. این داده‌ها لزوماً برای اهدافِ تحلیلیِ حمل‌ونقلی جمع‌آوری نمی‌شوند اما می‌توان از آن‌ها به‌عنوان منابع داده کمکی، مکمل و یا حتی در برخی موارد، جایگزین منابع داده قبلی استفاده نمود. داده‌های ثبت‌شده از طریق موقعیت‌یاب‌های تعبیه‌شده در خودروها یا تلفن‌های همراه هوشمند، کارت بلیت هوشمند مسافران سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی و شبکه مخابراتی تلفن‌های همراه در گروه این‌گونه از کلان داده‌ها قرار می‌گیرند [Jiang and Luo ,۲۰۲۲]. از منابع داده بیان‌شده، داده‌های شبکه تلفن همراه به دلیل ویژگی‌هایی مانند هزینه اندکِ دسترسی و پوشش گسترده، جایگاه مناسبی در تحلیل رفتار سفر افراد و همچنین برآورد تقاضای سفر کسب کرده‌اند. در عصر کنونی تلفن همراه تبدیل به ابزار ارتباطی فراگیر در تمام اقشار جوامع و وسیله‌ای جدایی‌ناپذیر از انسان مدرن امروز شده است. همین امر موجب افزایش ضریب نفوذ تلفن همراه و به‌تبع آن بزرگ‌تر شدن اندازهٔ نمونهٔ به‌دست‌آمده شده است که قابلیت اطمینان نتایجِ حاصل از تحلیل این نوع داده‌ها را نسبت به داده‌های پرسشگری خانوار افزایش می‌دهد [National Academies of ,۲۰۱۸ Sciences, Engineering, Medicine].

در مطالعه پیش رو برای نخستین بار در کشور از پایگاه داده‌ای کلان با وسعت پوشش جغرافیایی در سطح دو شهرستان از یک استان و در مدت پنج روز کاری برای تخمین تقاضای سفر مبدأ-مقصد بهره گرفته‌شده است. در ادامه، تعداد سفرهای تخمین زده‌شده با توجه به جمعیت شهرستان‌های موردمطالعه، هرم سنی جمعیت استانی و ضریب نفوذ تلفن همراه تعمیم داده خواهد شد. درنهایت تقاضای برآوردشده در مقایسه با داده‌های ترددشماری مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در قسمت‌های بعدی این مقاله، پس از ارائه مروری بر ادبیات موضوع، به هر یک از موضوعات فوق‌الذکر به‌تفصیل پرداخته خواهد شد.

۲. ادبیات پژوهش

داده‌های ثبت تماس تلفن همراه (CDR) یکی از انواع داده‌های مکانی-زمانی هستند که در آن‌ها وجود توأمان موقعیت مکانی و برچسب زمانی امکان تحلیل رفتار حرکتی کاربران در محدوده موردمطالعه را مسیر می‌سازد [Hoteit .et al ,۲۰۱۴]. مزایای داده‌های ثبت تماس تلفن همراه از قبیل تواتر در جمع‌آوری اطلاعات حرکتی افراد در بازه‌های طولانی، کاهش و حذف برخی خطاها در مقایسه با روش‌های پرسشگری و حجم بالای کاربران ثبت‌شده، سبب شده است تا استفاده از این داده‌ها برای مسائل مختلف حمل‌ونقلی ازجمله ساخت ماتریس مبدأ-مقصد

که یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای برآورد تقاضای سفر است، موردتوجه پژوهشگران در حوزه حمل‌ونقل قرار گیرد [Vidović ,۲۰۲۲]. بااین‌حال استفاده از داده‌های ثبت تماس تلفن همراه برای ساخت ماتریس مبدأ–مقصد و به‌تبع آن برآورد تقاضای سفر، دارای چالش‌هایی نیز هست. یکی از این چالش‌ها شناسایی مبدأ و مقصد واقعی افراد است. در برخی موارد داده‌های ثبت‌شده تلفن همراه دارای خطاهایی در ثبت موقعیت داده‌ها هستند که عمده این خطا مربوط به پدیده‌ای تحت عنوان اثر پینگ‌پنگی است [Calabrese .et al ,۲۰۱۰]. در این پدیده در فواصل زمانی بسیار کوتاه (به‌عنوان‌مثال یک ثانیه) موقعیت تلفن همراه کاربر بین یک یا چندین آنتن جابجا می‌شود. برای حل این مسئله تاکنون مطالعات مختلفی انجام‌شده است. از روش‌های مرسوم استفاده‌شده در مطالعات برای این موضوع می‌توان به روش‌های مکانی، زمانی، مکانی–زمانی، مبتنی بر سرعت، الگوهای جابجایی و سرعت–الگوهای جابجایی اشاره کرد [Hoteit .et ,۲۰۱۴ al] [Çolak .et al ,۲۰۱۵]. روش‌های مبتنی بر رویکردهای مکانی عمدتاً به این صورت هستند که برای یک کاربر، موقعیت‌های مکانی در مجاورت هم با یک‌فاصله مشخص، به‌عنوان خوشه توقف شناسایی می‌شود. سپس مرکز یا مدوئید خوشه به‌عنوان مبدأ یا مقصد واقعی کاربر تعیین می‌شود. منظور از مدوئید نقطه‌ای در خوشه نقاط است که مجموع فاصله آن تا سایر نقاط موجود در خوشه حداقل باشد [Yang and ,۲۰۲۲ Yao]. در روش‌هایی که موقعیت مکانی را به‌عنوان یک عامل در شناسایی نقاط توقف قرار می‌دهند باید توجه داشت که موقعیت مکانی داده‌ها چگونه ثبت‌شده‌اند [Alexander ,۲۰۱۵ et al.]. به‌طورکلی از دیدگاه ثبت موقعیت مکانی داده‌ها دو رویکرد وجود دارد؛ رویکرد اول ثبت موقعیت آنتن مخابراتی است که بجای ثبت موقعیت مکانی واقعی تلفن همراه، تنها موقعیت آنتنی که تلفن همراه به آن متصل شده است در پایگاه داده ثبت می‌شود [Iqbal .et al ,۲۰۱۴]. رویکرد بعدی ثبت موقعیت تقریبی تلفن همراه تحت عنوان روش‌های مثلث‌سازی است. در این روش، با استفاده از الگوریتم‌هایی پیشرفته بر اساس قدرت سیگنال ارتباطی با آنتن‌های مخابراتی مجاور کاربر در هر زمان، موقعیت مکانی تلفن همراه کاربر تخمین زده می‌شود. نوع ذخیره‌سازی موقعیت مکانی از این حیث حائز اهمیت است که دقت الگوریتم‌های مکانی و مکانی–زمانی تا حد زیادی به فاصله آنتن‌ها و خطای حاصل از مثلث‌سازی داده‌ها بستگی دارد [Fekih .et al ,۲۰۲۰]. ازجمله مطالعات مطرح صورت گرفته با استفاده از روش‌های مکانی می‌توان به مطالعه کالابریس و همکاران در بوستون با استفاده از داده‌های مثلث‌سازی شده در سال ۲۰۱۱ اشاره کرد که در آن با استفاده از شرط فاصله مکانی ۳۰۰ متر (بر مبنای خطای تخمین موقعیت مکانی تلفن همراه)، مبدأ و مقصد سفرهای کاربران شناسایی‌شده است [Calabrese .et al ,۲۰۱۱]. همچنین ایمای و همکاران نیز در سال ۲۰۲۱ در سطح کشور ژاپن با استفاده از داده‌های آنتن مبنا و روش‌های مکانی به ساخت ماتریس مبدأ–مقصد کشوری پرداخته‌اند. تفاوت عمده الگوریتم‌های مکانی–زمانی با روش‌های مکانی در استفاده از فاصله زمانی معنادار (حداقل مدت‌زمان معنادار برای انجام یک فعالیت) برای حذف یا نگهداری نقاط توقف (مبدأ یا مقصد سفر) است [Imai ,۲۰۲۱ et al.]. از این رویکرد در مطالعات الکساندر و همکاران در سال ۲۰۱۵، کلاک و همکاران در سال ۲۰۱۵ و درویش‌زاده کاخکی و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز استفاده‌شده است. در این مطالعات ابتدا مبدأ و مقصد اولیه سفرها توسط الگوریتم مکانی شناسایی و سپس با استفاده از بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای نقاط توقف بالقوه واقعی شناسایی می‌شود. لازم به ذکر است در مطالعات مذکور پس از بررسی شرط زمانی، مجدداً الگوریتم مکانی برای شناسایی نقاط توقف واقعی استفاده‌شده است. یکی دیگر از رویکردهای شناسایی مبدأ و مقصد سفرها استفاده از الگوریتم‌های زمانی است. روش کار این نوع از الگوریتم‌ها به این صورت است که اگر دو ردیف داده با اختلاف حداقل یک ساعت از یکدیگر ثبت‌شده باشند، جابجایی بین این دو نقطه (که هرکدام از آن‌ها

مبدأ یا مقصد سفر خواهند بود) به‌عنوان یک سفر شناسایی می‌شود [Alexander .et al ,۲۰۱۵] [Çolak .et al ,۲۰۱۵] [Darvishzadeh Kakhki .et al ,۲۰۲۲]. سایر رویکردها نظیر حذف اثر پینگ‌پنگی با استفاده از سرعت، الگوهای جابجایی و یا ترکیب هر دو [Eftekhar ,۲۰۱۹] [Arbabi Bidgoli ,۲۰۱۹] در مطالعات اخیر بسیار کم موردتوجه بوده‌اند و الگوریتم‌های مکانی–زمانی در مطالعات مرجع به‌عنوان رویکردی قوی‌تر معرفی‌شده‌اند [National Academies of Sciences, Engineering, Medicine ,۲۰۱۸].

پس از شناسایی مبدأ و مقصد سفرها به‌منظور ساخت ماتریس‌های مبدأ–مقصد با اهداف مختلف و تعمیم سفرها، نیاز است که برچسب یا هدف از توقف در مبدأ یا مقصد سفر شناسایی شود [Bonnel, Fekih and Smoreda ,۲۰۱۸] که برای این مهم روش‌هایی مطرح‌شده است. مرسوم‌ترین رویکرد برای شناسایی هدف از توقف در مبدأ یا مقصد سفرها استفاده از روش‌های پنجره زمانی است [Tsumura .et al ,۲۰۲۲]. این روش باوجود سادگی در کاربرد، به دلیل نتایج قابل‌قبول، در بسیاری از مطالعات استفاده‌شده است. سازوکار این نوع از روش‌ها به این صورت است که ابتدا دو پنجره زمانی روز و شب در نظر گرفته می‌شود. اکنون موقعیت مکانی به‌عنوان محل خانه شناسایی می‌شود که بیشترین تعداد تکرار رؤیت را در بازه زمانی شب داشته باشد. روش شناسایی محل کار افراد نیز به همین صورت است با این تفاوت که بازه مدنظر، بازه زمانی روز است. بعد از شناسایی محل کار و خانه، دیگر نقاط توقف با عنوان «سایر» برچسب‌گذاری می‌شوند [Jiang, Ferreira and Gonzalez ,۲۰۱۷]. بااین‌حال روش‌های پیچیده‌تری نیز برای این منظور معرفی‌شده‌اند که مبنای کار آن‌ها استفاده از روش‌های یادگیری ماشین یا مدل‌های آماری است. این مدل‌ها نیازمند اطلاعات بیشتری مانند کاربری‌های زمین در محدوده موردمطالعه هستند [Sun .et al ,۲۰۲۰]. این نوع از روش‌ها به دلیل پیچیدگی‌ها و نیاز به داده‌های بیشتر در مقایسه با روش‌های پنجره زمانی، در مطالعات این حوزه کمتر موردتوجه قرارگرفته‌اند.

آخرین فرآیند در برآورد تقاضای سفر با استفاده از داده‌های تلفن همراه، تعمیم تعداد سفرهای تخمین زده‌شده است [Vidović ,۲۰۲۲]. همچنین، ازآنجایی‌که به دلیل صرفه‌جویی در زمان و حذف کاربران با رفتار تماس غیرمتعارف، امکان استفاده از تمامی کاربران جامعه موردمطالعه وجود ندارد، از نمونه‌ای از داده‌ها استفاده می‌گردد. بنابراین، لازم است این نمونه به‌کل جامعه تعمیم داده شود [Imai .et al ,۲۰۲۱]. تاکنون در مطالعات انجام‌شده از روش‌های متفاوتی جهت تعمیم نتایج استفاده‌شده است. بر اساس این مطالعات روش‌های تعمیم ماتریس سفر به‌طورکلی به سه دسته تقسیم می‌شوند [Yang and Yao ,۲۰۲۲]. دسته اول روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی هستند. در این نوع از روش‌ها ابتدا ماتریس‌های اولیه از داده‌های تلفن همراه استخراج می‌شوند. سپس نتایج به‌دست‌آمده بر اساس مشاهدات حجم در کمان‌های منتخب اصلاح می‌شوند. به عبارتی در این روش‌ها ابتدا نتایج به شبکه معابر تخصیص داده‌شده و سپس از طریق روش‌های مرسوم، نتایج اصلاح می‌گردند. به‌عنوان‌مثال، اقبال و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر روی ساخت ماتریس مبدأ–مقصد با به‌کارگیری مؤثر داده‌های شبکه تلفن همراه و همچنین شبیه‌سازی خردنگر شبکه، مطالعه‌ای را به انجام رسانده‌اند. ازآنجاکه در این مطالعه نیاز به داده‌های احجام واقعی عبوری بوده است، از تصاویر دوربین‌های ترافیکی بهره گرفته‌شده است. ماتریس اولیه به‌دست‌آمده برحسب جابجایی افراد بین آنتن‌های مخابراتی بوده است که آن را به ماتریس گره به گره تبدیل کرده‌اند. در ادامه برای تعمیم ماتریس اولیه به ماتریس واقعی از روشی برمبنای بهینه‌سازی طبق حداقل‌سازی خطای میانگین مربعات استفاده‌شده است [Iqbal .et al ,۲۰۱۴]. در مطالعه دیگری با رویکرد مشابه، با استفاده از ماتریس حقیقی موجود و دفترچه سفر پرشده توسط ۱ درصد از کاربران محدوده موردمطالعه، داده‌های تلفن همراه مصنوعی با استفاده از

الگوهای فعالیت–سفر تولیدشده و از آن‌ها در استخراج ماتریس تقاضای سفر بهره گرفته‌شده است [Eftekhar, Pel ,۲۰۲۳ and van Lint].

نوع دیگری از رویکردهای تعمیم ماتریس بر اساس روش‌های احتمالی ساده است. این نوع از روش‌های تعمیم در مطالعات بسیاری مورداستفاده قرارگرفته‌اند. منطق استفاده از ضرایب تعمیم در این روش بدین شکل است که ابتدا جمعیت ساکن در یک منطقه جغرافیایی توسط داده‌های تلفن همراه شناسایی می شوند. منظور از جمعیت ساکن افرادی هستند که محل خانه آن‌ها در منطقه جغرافیایی موردنظر شناسایی‌شده باشد. در ادامه با تقسیم جمعیت واقعی منطقه موردمطالعه بر تعداد افراد ساکن شناسایی‌شده، ضریب تعمیم محاسبه می‌شود [Alexander .et al ,۲۰۱۵] [Imai .et al ,۲۰۲۱]. نوع دیگری از روش‌ها استفاده از روش‌های ترکیبی است؛ به این معنی که ابتدا تقاضای سفر توسط روش احتمالی ساده تعمیم داده‌شده سپس با استفاده از روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی، نتایج حاصل از تعمیم به واقعیت نزدیک‌تر می‌شوند. ازجمله مطالعات مطرح در این زمینه می‌توان به مطالعه سان و همکاران در سال ۲۰۲۰ اشاره کرد. در این مطالعه ابتدا از طریق رویکرد احتمالی ساده ماتریس تقاضای مبدأ–مقصد تعمیم داده‌شده و سپس به‌وسیله روشی مبتنی بر قواعد بیزی ماتریس حاصل بر اساس داده‌های ترددشمارها اصلاح‌شده است [Sun .et al ,۲۰۲۰]. جدول (۱) خلاصه‌ای از مطالعات درزمینهٔ برآورد تقاضای سفر مبدأ–مقصد با استفاده از داده‌های تلفن همراه را نشان می‌دهد.

در پژوهش پیش رو، امکان‌سنجی استفاده از داده‌های تلفن همراه برای تخمین تقاضای سفر در سطوح کلان‌تر نظیر شهرستان‌های یک استان در داخل کشور صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که برای طبقه‌بندی نقاط موجود در پایگاه داده از رویکردی بر اساس روش مکانی–زمانی و الگوریتم خوشه‌بندی تجمعی دومرحله‌ای استفاده می‌شود. علت استفاده از خوشه‌بندی دومرحله‌ای بالا بردن دقت در شناسایی نقاط توقف مهم مانند خانه و محل کار است. همچنین نتایج حاصل از تعمیم سفرها با استفاده از داده‌های شمارش واقعی در سطح شهرستانی ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این، استفاده از رویکرد ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند پایه و اساسی برای ارزیابی مطالعات کلان در سطح کشور نظیر طرح جامع حمل‌ونقل کشور نیز باشد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات مربوط به برآورد تقاضای سفر با استفاده از داده‌های تلفن همراه

مرجع	محدوده جغرافیایی	روش خوشه‌بندی	روش برچسب‌گذاری مبدأ–مقصد	روش تعمیم	ارزیابی
کالابریس و همکاران (۲۰۱۱)	شهر بوستون	مکانی–زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه نرخ و توزیع سفر – مقایسه جمعیت تعمیمی با جمعیت واقعی
اقبال و همکاران (۲۰۱۴)	شهر داکا	زمانی	–	مبتنی بر بهینه‌سازی	مقایسه ماتریس شبیه‌سازی‌شده با ماتریس حاصل از داده‌های حقیقی
الکساندر و همکاران (۲۰۱۵)	شهر بوستون	مکانی–زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه تعداد و نرخ سفرها – مقایسه زمان شروع و پایان فعالیت‌ها با طرح جامع
کلاک و همکاران (۲۰۱۵)	شهر ریو و شهر سانفرانسیسکو	مکانی–زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه تعداد و نرخ سفرها با طرح جامع
جیانگ و همکاران (۲۰۱۷)	کشور سنگاپور	مکانی–زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه فراوانی انواع زنجیره‌های سفر با طرح جامع

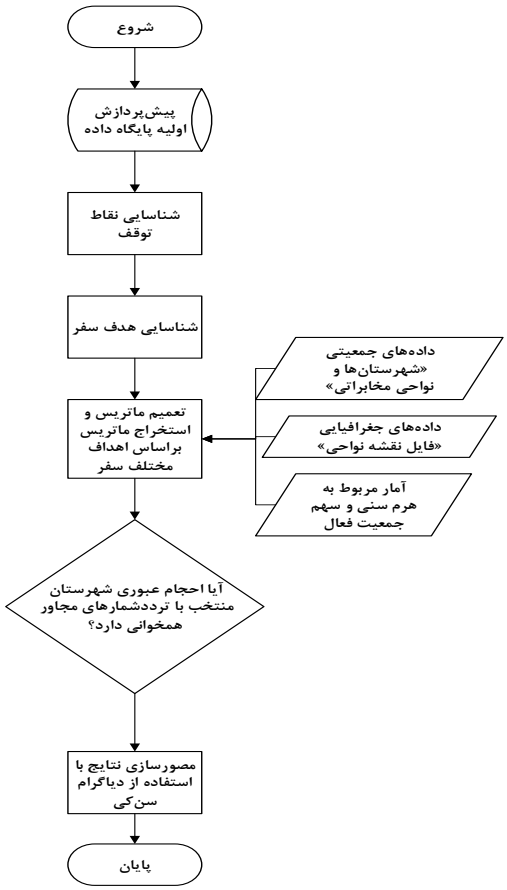
مرجع	محدوده جغرافیایی	روش خوشه‌بندی	روش برچسب‌گذاری مبدأ-مقصد	روش تعمیم	ارزیابی
بونل و همکاران (۲۰۱۸)	منطقه رون-آلپ	زمانی	-	-	مقایسه جمعیت تعمیمی با طرح جامع
فکیح و همکاران (۲۰۲۰)	منطقه رون-آلپ	زمانی	-	مبتنی بر بهینه‌سازی	مقایسه ماتریس برآوردشده با طرح جامع
سان و همکاران (۲۰۲۰)	شهر کانشان	-	-	ترکیبی	مقایسه ضریب تعمیم با شبکه معابر آزمایشی
ایمای و همکاران (۲۰۲۱)	کشور ژاپن	مکانی-زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه نرخ و طول سفرها با طرح جامع - مقایسه ماتریس‌های برآوردشده با طرح جامع
افتخار (۲۰۱۹)	شهر شیراز	رفع خطای اثر پینگ‌پنگی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه ماتریس برآوردشده با طرح جامع
اربابی بیدگلی (۲۰۱۹)	شهر شیراز	رفع خطای اثر پینگ‌پنگی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه تردد با داده‌های ترددشماری
درویش زاده کاخکی و همکاران (۲۰۲۲)	شهر تهران	مکانی-زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه نرخ سفرها با طرح جامع - مقایسه نرخ تولیدوجذب با طرح جامع - مقایسه تقاضای برآوردشده با طرح جامع
این مطالعه	شهرستان‌های تهران و شهریار	مکانی-زمانی	تواتر زمانی و مشاهده در محل	احتمالی ساده	مقایسه تردد با داده‌های ترددشماری

۳. روش پژوهش

در مجموعه داده‌های کلان، ازآنجاکه داده‌ها معمولاً برای مقاصدی غیر از تحلیل‌های حمل‌ونقلی جمع‌آوری می‌شوند، الزاماً به‌طور مستقیم قابل‌استفاده نیستند؛ پس به پیش‌پردازش اولیه‌ای بر روی داده‌های خام نیاز است که شامل پاک‌سازی قسمتی از مجموعه داده‌های خام و اصلاح برخی موارد در آن می‌شود. پس از انجام کامل و دقیق پیش‌پردازش اولیه، طی چند گام کلی می‌توان تقاضای سفر در ناحیه مطالعاتی را برآورد نمود. نخستین مرحله در روند برآورد تقاضا، شناسایی موقعیت مکانی است که کاربر در یک بازه زمانی معین، در آنجا در حال انجام فعالیتی بوده است که اصطلاحاً به آن «نقطه توقف» گویند. نقاط دیگر ثبت‌شده از کاربران که فاقد شرایط مذکور باشند، در دسته «نقاط عبوری» جای می‌گیرند [Jiang, Ferreira and Gonzalez, ۲۰۱۷]. سپس در این مرحله، باید محل‌های اصلی فعالیت افراد که در این مطالعه شامل محل کار و خانه می‌شود، شناسایی و مشخص شوند چراکه این مکان‌ها از جهت برآورد تقاضا به تفکیک اهداف سفر و محاسبه ضرایب برای تعمیم نمونه به جامعه حائز اهمیت هستند [Imai .et al ,۲۰۲۱]. در گام نهایی از مراحل برآورد تقاضای سفر، سفرهای کاربران در یک پنجره زمانی که تحت عنوان «روز» معرفی می‌شود، موردبررسی قرار می‌گیرند. مبنای پنجره زمانی «روز» در این مطالعه، در نظر گرفتن این فرض است که تمامی افراد سفر روزانه خود را صبح از محل خانه آغاز می‌کنند و شب در محل خانه به پایان می‌رسانند. اکنون می‌توان تقاضای سفر مبدأ-مقصد نواحی را به تفکیک اهداف

گوناگون استخراج نمود. رویکرد معمول ارائه‌شده در اکثر مطالعات این حوزه برای صحت‌سنجی، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با طرح جامع است. با توجه به نبود این اطلاعات، می‌توان از راه‌حلی جایگزین مانند مقایسه تردد برآوردشده با احجام واقعی ترددشمارها استفاده نمود [Barboza .et ,۲۰۲۱ al].

در این بخش از مطالعه، فرآیند تبدیل پایگاه داده خام تلفن همراه به مجموعه داده‌ای کاربردی درزمینهٔ تحلیل‌های حمل‌ونقلی و همچنین نحوه دست‌یابی به خروجی‌های موردنظر بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که پس از برآورد تقاضای سفر مبدأ-مقصد، می‌توان جریان‌های اصلی جابجایی به سبب تقاضای بین شهرستان‌های موردمطالعه را موردبررسی قرار داد. همچنین با در دسترس بودن داده‌های ترددشماری، امکان ارزیابی نتایج برآوردشده فراهم است. در شکل (۱) فلوچارتی از روند و مراحل روش تحقیق مربوط به این پژوهش آورده شده است:



شکل ۱. فلوچارت کلی روند و مراحل روش تحقیق

۳-۱ آشنایی با پایگاه داده و پیش‌پردازش داده‌های خام

در پژوهش پیش رو از داده‌های شبکه تلفن همراه که به‌صورت LU ثبت‌شده‌اند، استفاده‌شده است. عبارت LU سرواژه لغت لاتین Location Update به معنی به‌روزرسانی موقعیت مکانی است. ردیف‌های اطلاعاتی این پایگاه داده شبکه تلفن همراه در صورت وقوع رویدادهای برقراری تماس، ارسال یا دریافت پیامک، استفاده از اینترنت سیم‌کارت و تغییر موقعیت مکانی تلفن همراه (به معنی ترک محدوده تحت پوشش یک آنتن مخابراتی و ورود به محدوده تحت پوشش آنتن دیگر) ایجاد می‌شوند. پایگاه داده مطالعاتی این پژوهش در تاریخ ۲۵ الی ۲۹ اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۰ (مصادف با ۱۵ لغایت ۱۹ ماه مه ۲۰۲۱ میلادی) در روزهای شنبه الی چهارشنبه ثبت‌شده است. در ضمن، گستره مکانی ثبت داده‌ها شامل دو شهرستان تهران و شهریار از استان تهران بوده است. در این مطالعه به‌منظور تعیین نحوهٔ پوشش‌دهی آنتن‌های مخابراتی و همچنین تخصیص صحیح ناحیه تحت پوشش هر آنتن، از تقسیم‌بندی به روش سلول‌های ورونوی استفاده‌شده است. هر چندضلعی از این دیاگرام دوبعدی، یک ناحیه فرضی اطراف آنتن مخابراتی است که وسعت پوشش‌دهی آن آنتن را نشان می‌دهد.

برای انجام محاسبات و تحلیل‌های آتی، لازم است نمونه‌ای با وضوح مکانی و زمانی قابل‌قبول، از پایگاه داده موجود انتخاب و جداسازی شود. طبق آنچه در مطالعات پیشین انجام و پیشنهادشده است، مجموعه داده جداسازی شده باید از کاربرانی انتخاب شود که تعداد ردیف‌های اطلاعاتی مناسب و منطقی داشته باشند. برای این مطالعه، با در نظر گرفتن پیشنهادهای ارائه‌شده و انجام سعی‌وخطا، سه شرط برای جداسازی مجموعه داده موردنظر تعیین‌شده است؛ میانگین فاصله زمانی بین ثبت داده‌ها کمتر از ۹۰ دقیقه باشد، کاربران دارای حداقل تعداد ۲۰۰ ردیف اطلاعاتی (حداقل ۱/۵ ردیف اطلاعاتی در هر ساعت) و کاربران دارای حداکثر تعداد ۱۰،۰۰۰ ردیف اطلاعاتی (حداکثر

۸۰ ردیف اطلاعاتی در هر ساعت) انتخاب شوند. بنابراین نمونه انتخابی با در نظر گرفتن شروط بیان‌شده از پایگاه داده تلفن همراه جداسازی شده و برای تحلیل‌های بعدی مورداستفاده قرارگرفته است [Caceres, Wideberg and Benitez, ۲۰۰۸] [Darvishzadeh Kakhki .et al, ۲۰۲۲].

۳-۲ پاک‌سازی نهایی مجموعه داده

در این بخش منظور از پاک‌سازی نهایی، رفع خطای ناشی از اثر پینگ‌پنگی است که پس‌ازآن می‌توان به شناسایی نقاط توقف کاربران موجود در مجموعه داده پرداخت. اگر این نوع خطا به‌درستی شناسایی و رفع نشود، ممکن است که در مراحل بعدی تحلیل انتشار پیدا کند و برآورد تعداد سفرها، تخمین محل فعالیت‌های اصلی و سایر ویژگی‌های سفر کاربران را تحت‌الشعاع قرار دهد.

همان‌طور که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد، پس از رفع خطای اثر پینگ‌پنگی باید نقاط توقف افراد شناسایی و تعیین شوند. در بخش مرور ادبیات موضوع، روش‌های پیشنهادی گوناگون برای این منظور معرفی و بررسی شدند. در مطالعه پیش‌رو، این امر با برداشتی از روش‌های پیشنهادی مطالعات جیانگ و همکاران و الکساندر و همکاران انجام‌شده است [Jiang, Ferreira and Gonzalez, ۲۰۱۷] [Alexander .et al, ۲۰۱۵].

۳-۲-۱ شناسایی نقاط توقف بالقوه

برای شناسایی نقاط توقف بالقوه در مجموعه داده موجود، موقعیت‌های مکانی ثبت‌شده باید طبق توالی زمانی مرتب شوند. رابطه (۱) بیانگر توالی حاصل از این مرتب‌سازی است که در آن D_i مجموعه داده‌های مربوط به یک فرد با در نظر گرفتن ترتیب زمانی خواهد بود.

$$D_i = \left(d_i(1), d_i(2), d_i(3), \dots, d_i(n_i)\right) \quad (۱)$$

در توالی فوق هر عبارت $d_i(k)$ برابر خواهد بود با رابطه (۲):

$$d_i(k) = \left(t(k), x(k), y(k)\right) for\ k = 1,2, \dots, n_i \quad (۲)$$

که در آن:

$t(k)$ = زمان اتصال کاربر به آنتن مخابراتی.

$x(k)$ = طول جغرافیایی آنتن.

$y(k)$ = عرض جغرافیایی آنتن.

سپس نقاط دارای ترتیب زمانی ($d_i(k)$) که در یک فاصله مشخص (متر۱۳۰۰=d_0) نسبت به نقاط قبل از خود قرار دارند، جدا می‌شوند و در یک مجموعه جدید به‌عنوان نقاط توقف بالقوه مانند آنچه در رابطه (۳) آورده شده است، ذخیره می‌شوند.

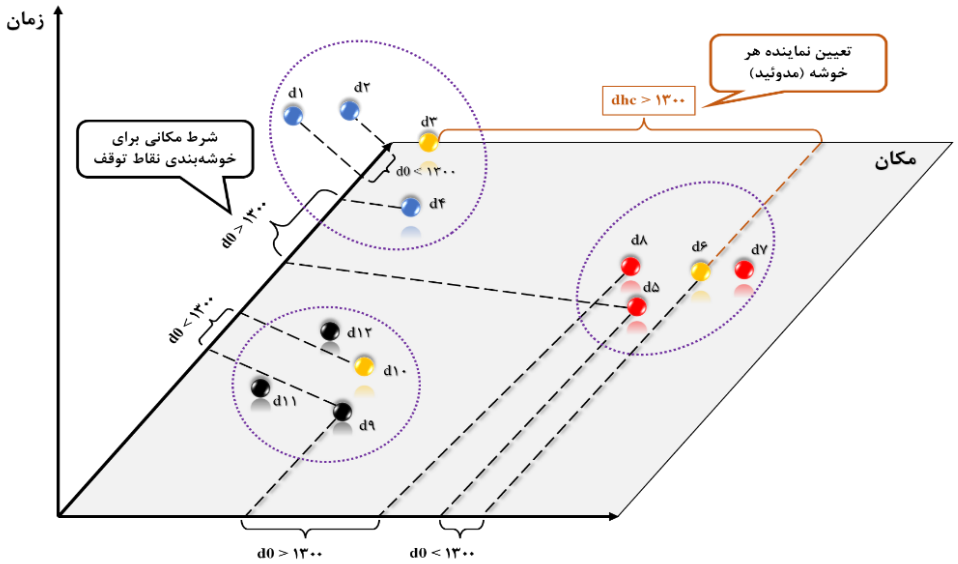
$$\{d_i(k+1), d_i(k+2), \dots, d_i(k+m)\} \quad (۳)$$

در شکل (۲) مراحل این فرآیند قابل‌مشاهده است. هر خوشه از نقاط توقف بالقوه باید فاقد نوسانات احتمالی (که معمولاً ناشی از تحویلات[۱] بین آنتن‌ها هستند) باشد. برای این منظور می‌توان مدوئید نقاط هر خوشه را به‌عنوان نماینده آن خوشه انتخاب کرد که نحوه تعیین آن در شکل (۲) (نقاط زردرنگ) آورده شده است. با جداسازی هر خوشه از نقاط که ازنظر مکانی در نزدیکی یکدیگر قرار دارند، باید فاصله زمانی بین هر دو نقطه متوالی موجود در خوشه نیز بررسی شود. برای این مطالعه معیار زمانی ۱۰ دقیقه در نظر گرفته‌شده است. به این صورت که اگر فاصله زمانی مذکور بیشتر از ۱۰ دقیقه باشد، یک نقطه توقف بالقوه خواهیم داشت و اگر فاصله زمانی کمتر از ۱۰ دقیقه باشد با مجموعه‌ای از نقاط عبوری مواجه خواهیم بود. در شکل (۳) روند بررسی شرط زمانی بیان‌شده بر روی خوشه‌های توقف بالقوه قابل‌مشاهده است. اکنون می‌توان گفت که نقاط به دو گروه نقاط عبوری و خوشه‌های تشکیل‌شده از نقاط توقف بالقوه تقسیم‌شده‌اند.

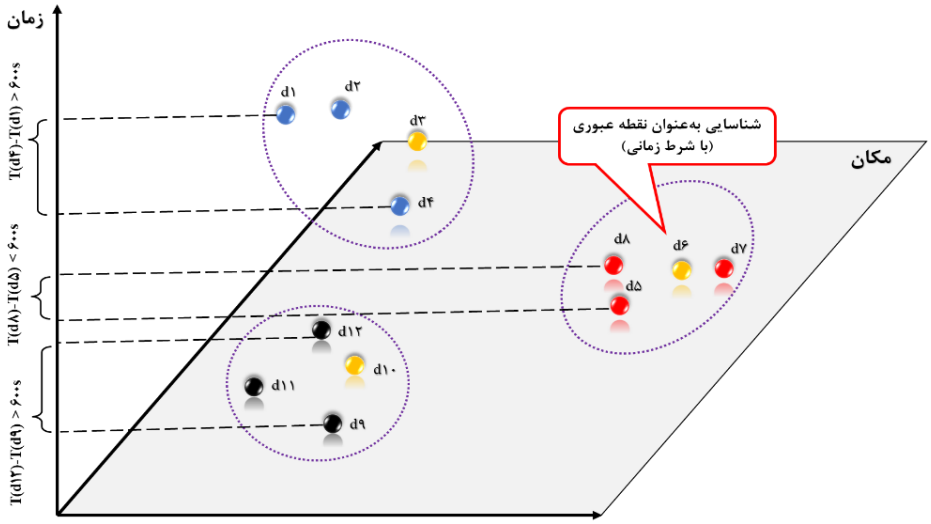
۳-۲-۲ شناسایی نقاط توقف

[۱] HandOver یا تحویلات به معنی جابه‌جایی از محدوده تحت پوشش یک آنتن مخابراتی، به محدوده پوشش‌دهی آنتن دیگر است.

برای شناسایی نقاط توقف از میان نقاط توقف بالقوه، باید نمایندگان خوشه‌ها یا همان مدوئیدها که به لحاظ مکانی در مجاورت یکدیگر قرار دارند ولی ازنظر زمانی خیر، در مرحله دوم دوباره تجمیع شوند. برای این منظور از یک الگوریتم خوشه‌بندی با ویژگی تجمعی مکانی استفاده‌شده است. با در نظر گرفتن موارد بیان‌شده، واضح است که در این پژوهش از خوشه‌بندی دومرحله‌ای برای شناسایی محل فعالیت کاربران بهره گرفته‌شده است. دلیل این تصمیم این است که اگر محل شناسایی شده برای فعالیت اقامت در خانه برای یک کاربر در روزها یا ساعت‌های مختلف یک روز یکسان نباشد، خطایی به نتایج راه پیدا نکند. در الگوریتم مکانی تجمعی این مطالعه شرط حداکثر فاصله برابر با آستانه فاصله پیوند بین دو خوشه (متر d_{hc}=۱۳۰۰) در نظر گرفته‌شده است. انواع مختلفی از شاخص‌های درجه پیوند برای الگوریتم‌های خوشه‌بندی تجمعی وجود دارند که انتخاب نوع مناسب آن در به دست آوردن نتایج مطلوب از خوشه‌بندی حائز اهمیت است. با آزمایش درجه پیوندهای مختلف، مشخص شد که بهترین معیار درجه پیوند برای انجام این مرحله از مطالعه، پیوند میانگین است.



شکل ۲. خوشه‌بندی نقاط توقف بر اساس شرط مکانی و تعیین مدوئید هر خوشه توقف بالقوه به‌عنوان نماینده خوشه (نقاط زردرنگ)



شکل ۳. بررسی شرط فاصله زمانی بر روی خوشه‌های توقف بالقوه

۳-۲-۳ شناسایی موقعیت فعالیت‌های اصلی

پس از شناسایی نقاط توقف در مرحله قبل، اکنون باید نوع فعالیت انجام‌شده در نقاط توقف را تعیین کرد. درواقع با شناسایی نوع فعالیت صورت گرفته در محل‌های اصلی فعالیت، اهداف سفر نیز مشخص خواهند شد که از بابت امکان برآورد تقاضای سفر به تفکیک اهداف مختلف بسیار حائز اهمیت است. برای یافتن نوع فعالیت در نقاط توقف، در این مطالعه از رویکردی بر مبنای تواتر و بیشترین زمان حضور کاربران جهت شناسایی محل‌های اصلی فعالیت بهره گرفته‌شده است [۲۰۱۸, National Academies of Sciences, Engineering, Medicine]. پس از طی کردن مراحل پیشین که شامل حذف نوسانات احتمالی و نقاط عبوری از مجموعه داده هر کاربر بوده است، اکنون نقاط مربوط به محل فعالیت هر کاربر به‌دست‌آمده است. برای شناسایی نوع فعالیت، لازم است که بازه‌های زمانی مؤثر شب و روز تعیین شوند. بازه زمانی مؤثر شب (مربوط به فعالیت اقامت در خانه) از ساعت ۲۱ الی ۶ صبح روز بعد و بازه زمانی مؤثر روز (مربوط به فعالیت شغلی) از ساعت ۶ صبح الی ۲۱ همان روز تعریف‌شده است. با مشخص بودن نقاط توقف و بازه‌های زمانی مذکور، می‌توان با بررسی زمان حضور و نرخ مشاهده کاربر در نقطه توقف، محل خانه یا محل کار برای وی شناسایی کرد. بدین ترتیب، نقطه توقفی محل خانه خواهد بود که کاربر طولانی‌ترین زمان حضور و بیشترین نرخ مشاهده را در طول روزهای مطالعاتی و در بازه زمانی مؤثر شب در آن نقطه خاص داشته باشد. لازم به ذکر است که اگر برای فردی در طول بازه مطالعاتی، محل خانه شناسایی نشود (نرخ رؤیت در خانه کمتر از ۱) این کاربر از مجموعه داده موردبررسی حذف خواهد شد. با در نظر گرفتن الگوریتمی مشابه، نقطه توقفی محل کار خواهد بود که کاربر طولانی‌ترین زمان حضور و بیشترین نرخ مشاهده را در طول روزهای مطالعاتی و در بازه زمانی مؤثر روز در آن نقطه خاص داشته باشد. این احتمال وجود دارد که طی فرآیند شناسایی محل کار، دو نقطه با شروط در نظر گرفته‌شده برای یک کاربر شناسایی شود. در این حالت، نقطه‌ای که بیشترین فاصله را از محل خانه فرد دارد، به‌عنوان محل کار در نظر گرفته خواهد شد. چراکه بررسی‌ها نشان می‌دهد به‌طورکلی، افراد برای اهداف شغلی و کسب درآمد حاضرند مسافت‌های بیشتری را در سفر باشند تا فعالیت‌های جانبی دیگر مثل تفریح و خرید [۲۰۱۸, National Academies of Sciences, Engineering, Medicine]. نکته دیگری که در فرآیند شناسایی محل کار حائز اهمیت است، این است که ممکن است یک نقطه خاص که شرایط محل کار کاربر را دارد، در طول بازه مطالعاتی تنها یک‌بار مشاهده‌شده باشد. در این شرایط الگوریتم به صورتی تنظیم‌شده است که آن نقطه را به‌عنوان فعالیت «سایر» در نظر بگیرد. زیرا همه کاربران موردبررسی، دارای شغل منظم روزانه نیستند [Alexander .et al ,۲۰۱۵].

۳-۳ برآورد تقاضای سفر مبدأ-مقصد

در این مرحله از مطالعه می‌توان به برآورد تقاضای سفر مبدأ-مقصد با استفاده از مجموعه داده پردازش‌شده در مراحل قبل پرداخت. حال که نقاط فعالیت‌های اصلی کاربران پیش‌تر مشخص‌شده است، باید موقعیت مکانی این نقاط را طبق نواحی تحت پوشش آنتن‌ها که بر اساس سلول‌های ورونوی تخصیص یافته‌اند، تخمین زد. پس از تعیین سلول‌های ورونوی مربوط به نقاط فعالیت، باید هر یک از این چندضلعی‌ها را بر اساس احتمال وزنی مساحتشان به شهرستان مربوطه اختصاص داد [۲۰۲۱, Imai .et al]. طبق آنچه در بخش‌های گذشته به آن اشاره شد، فرض می‌شود که هر نقطه توقف نقش مبدأ یا مقصد سفر را ایفا می‌کند. فرض دیگر این است که سفرهای روزانه افراد از خانه آغاز و به خانه ختم می‌شود [۲۰۱۷, Jiang, Ferreira and Gonzalez].

پس از برآورد اولیه از تقاضای سفر کاربران، باید ضریب تعمیم مربوط به هر ناحیه مخابراتی محاسبه شود تا طبق آن تعداد سفرهای برآوردشده در سطح نواحی مخابراتی تعمیم یابد و

تقاضای مبدأ–مقصد بین این نواحی به دست آید. برای این مطالعه، ضریب تعمیم هر ناحیه مخابراتی طبق روابط (۴) و (۵) به دست می‌آید [Eftekhar ,۲۰۱۹].

$$VoroCoef_i = \frac{POP_i}{pop_i} \times \alpha \qquad (۴)$$

$$VOD_{ij} = \sum_z n_{ij}^z \times \frac{VoroCoef_{home_z}}{K_{dz}} \qquad (۵)$$

که در آن‌ها:

$VoroCoef_i$: ضریب تعمیم جمعیت ناحیه مخابراتی i.

POP_i: جمعیت ساکن ناحیه مخابراتی i.

pop_i: تعداد کاربران تلفن همراه ساکن در ناحیه مخابراتی i.

α: نسبت کاربران فعال تلفن همراه به‌کل کاربران (بین ۰ و ۱).

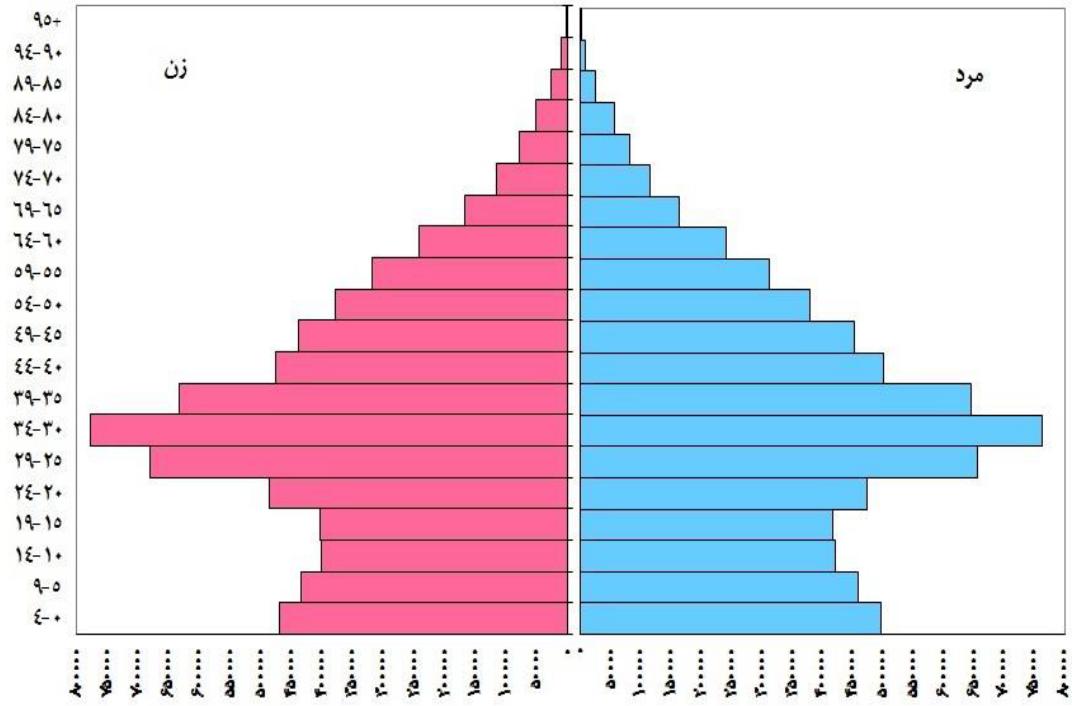
VOD_{ij}: میزان تقاضای مبدأ–مقصد بین نواحی مخابراتی i و j.

n_{ij}^z: تعداد سفرهای کاربر z از مبدأ i به مقصد j.

$home_z$: شناسه ناحیه مخابراتی که خانه کاربر z در آن قرار دارد.

K_{dz}: تعداد روزهایی که کاربر z مشاهده‌شده (برای هدف سفر خانه‌مبنای کاری: تعداد روزهایی که برای کاربر محل کار شناسایی‌شده / برای اهداف خانه‌مبنای غیر کاری و غیر خانه‌مبنا: کل روزهایی که کاربر مشاهده‌شده).

جمعیت نواحی مخابراتی طبق اطلاعات موجود از جمعیت شهرستان‌ها در سامانه مرکز ملی آمار ایران و بلوک‌های آماری جمعیتی [Statistical Center of Iran ,۲۰۲۱] محاسبه‌شده است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه سفرهای بین‌شهری در این مطالعه استخراج می‌شوند و موردبررسی قرار می‌گیرند، استفاده از تمام جمعیت هر شهرستان برای تعمیم این‌گونه سفرها رویکرد صحیحی نیست. با استفاده از هرم سنی جمعیت استان تهران (شکل (۴)) مربوط به سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ و ضریب نفوذ تلفن همراه به ازای گروه‌های جمعیتی گوناگون بر اساس نتایج طرح آمارگیری برخورداری خانوارها و استفاده افراد از فناوری اطلاعات و ارتباطات در سال ۱۳۹۶ [Statistical Center of Iran ,۲۰۲۱] طبق جدول (۲)، ضریب α برای به‌کارگیری در رابطه (۴) به دست می‌آید که بیانگر نسبت کاربران فعال جامعه برای سفرهای بین‌شهری به‌کل کاربران تلفن همراه است. لازم به ذکر است که ضریب نفوذ تلفن همراه درواقع شاخصی است که نشانگر درصدی از جمعیت یک ناحیه یا منطقه است که از تلفن همراه استفاده می‌کنند.



شکل ۴. هرم سنی استان تهران برحسب گروه‌های سنی مختلف؛ سال ۱۳۹۵

جدول ۲. کاربر تلفن همراه برحسب گروه سنی؛ سال ۱۳۹۶

	درصد گروه سنی	سهم
کل	۸۰/۷	۱۰۰
کمتر از ۱۵ سال	۲۹/۷	۵/۴
۱۵ تا ۲۴ سال	۸۹/۶	۱۷/۵
۲۵ تا ۴۹ سال	۹۴/۹	۵۴/۷
۵۰ سال و بیشتر	۷۸/۲	۲۲/۴

برای سفرهای بین‌شهری که مبنای این مطالعه هستند، جمعیت غیرفعال استان تهران شامل افراد بالای ۸۰ سال، افراد زیر ۴ سال و درصد افراد غیر کاربر تلفن همراه بین ۵ تا ۷۹ ساله است که نقش مؤثری در تقاضای سفرهای بین‌شهری ندارند. با توجه به محاسبات انجام‌شده، ۷۴/۲ درصد از جمعیت کل استان تهران برای سفرهای بین‌شهری فعال به‌حساب می‌آیند.

تا به این مرحله طبق توضیحات ارائه‌شده، تقاضای سفر بین نواحی مخابراتی برآورد شده است. هر ناحیه مخابراتی با توجه به محل قرارگیری آنتن آن نسبت به سایر آنتن‌ها، مساحت پوشش‌دهی آن، نحوه توزیع و تراکم سایر آنتن‌های در مجاورت آن، ممکن است در محدوده یک شهرستان یا هر دو شهرستان قرار داشته باشد. در ادامه به‌منظور برآورد تقاضای بین دو شهرستان موردمطالعه و همچنین مقایسه تردد بین آن‌ها با داده‌های ترددشماری سامانه ۱۴۱ [Iran Roads Management Center, ۲۰۲۱]، اختصاص سفرهای به‌دست‌آمده به شهرستان‌ها بسیار حائز اهمیت است.

برای این منظور، با به‌کارگیری ضریب نفوذ تلفن همراه و ضرایب تبدیل حاصل از رابطه (۶)، تقاضای سفر نهایی به دست خواهد آمد.

$$OD_{lm} = \sum_i \sum_j \frac{a_{il}}{A_i} \times \frac{a_{jm}}{A_j} \times VOD_{ij} \qquad (۶)$$

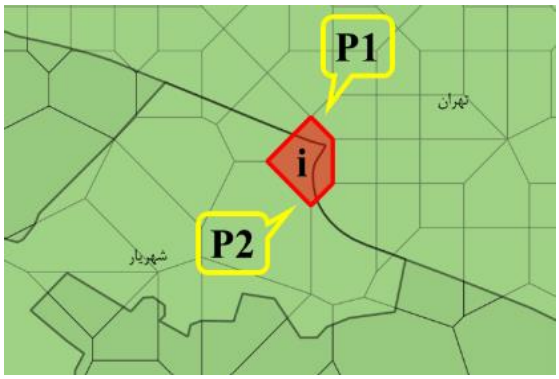
که در آن:

OD_{lm}: تعداد نهایی سفرهای برآوردشده بین دو شهرستان.

a_{il}: مساحت بخشی از شهرستان l که درون ناحیه مخابراتی i قرار دارد.

A_i: کل مساحت ناحیه مخابراتی i.

برای توضیح بهتر این نوع وضعیت قرارگیری، مثالی تصویری در شکل (۵) از این شرایط آورده شده است. اگر مبدأ یک سفر در ناحیه مخابراتی i شناسایی‌شده باشد، شهرستانی که سفر کاربر از آن‌جا آغازشده است ممکن است یکی از دو شهرستان شهریار یا تهران باشد. محاسبه احتمال اینکه سفر کاربر از کدام شهرستان آغازشده (یا در کدام شهرستان به پایان رسیده) با توجه به درصد همپوشانی مساحت ناحیه مخابراتی i با هر یک از دو شهرستان مذکور قابل انجام است. در شکل (۵)، P_1 و P_2 درصدی از ناحیه i هستند که در شهرستان‌های تهران و شهریار قرار دارند. این دو متغیر درواقع همان احتمال تعلق مبدأ (یا مقصد) سفر به هر یک از دو شهرستان هستند [Eftekhar ,۲۰۱۹].



شکل ۵. نمونه‌ای از قرارگیری یک ناحیه مخابراتی در دو شهرستان

۴-۳ مصورسازی نتایج

با انجام گام‌های پیشین روش تحقیق، تقاضای سفر بین دو شهرستان موردمطالعه به دست خواهد آمد. اکنون نیاز است که با روشی مناسب، جریان تقاضای به‌دست‌آمده مصورسازی شود تا ضمن درک بهتر، بتوان به‌صورت شهودی میزان تقاضای بین شهرستان‌ها را به تفکیک اهداف سفر گوناگون موردبررسی قرار داد.یکی از روش‌های پیشنهادی در مطالعات برای نمایش جریان بین دو نقطه موردنظر، ترسیم دیاگرام سن‌کی است [Schmidt ,۲۰۰۸]. دیاگرام سن‌کی یک تکنیک مصورسازی برای داده‌های در قالب جریان است که می‌تواند جابه‌جایی و تغییرات را از مکانی به مکان دیگر، زمانی به زمان دیگر یا حالتی به حالت دیگر به تصویر بکشد. در دیاگرام مذکور، پهنای نوارها متناسب

با جریان انتقال‌یافته بین دو نقطه است که پهنای بیشتر، بیانگر میزان جریان بیشتر است. دیاگرام سن‌کی بر انتقال جریان‌های عمده در یک سیستم که در این مطالعه سیستم حمل‌ونقلی مدنظر است، تأکید دارد. همچنین این دیاگرام قادر است تا سهم جریان‌های در حال انتقال در یک سیستم را نیز مجسم کند و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها را تسهیل کند [Schmidt ,۲۰۰۸].

۳-۵ ارزیابی تقاضای سفر

در این مطالعه نتایج به‌دست‌آمده که محتوای اصلی آن را تقاضای سفر مبدأ-مقصد تشکیل می‌دهد، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. از روش‌های پیشنهادی در مطالعات برای ارزیابی، آن روشی که در این مطالعه با توجه به داده‌های حقیقی موجود قابل انجام است، مقایسه تعداد سفرهای برآوردشده با ترددهای شمارش‌شده واقعی است. به‌منظور انجام این مقایسه، باید از معیارهای متداول در ارزیابی‌ها مانند ریشه میانگین خطای مربعات، شاخص همبستگی پیرسون و غیره استفاده کرد. نتایج بخش ارزیابی، میزان دقت مجموعه داده شبکه تلفن همراه و الگوریتم‌های استفاده‌شده در برآورد تقاضای سفر بین دو شهرستان موردمطالعه را بیان خواهد کرد. روش انتخابی این مطالعه برای مقایسه ترددها چالش‌هایی نیز دارد که باید به آن‌ها توجه داشت. یکی از این چالش‌ها، عملکرد ترددشمارها به‌صورت یک خط برش بین نواحی موردبررسی است. بنابراین اعداد گزارش‌شده توسط آن‌ها لزوماً بیانگر جابجایی بین مبدأ و مقصد موردنظر مطالعه نیست. راهکاری که برای پاسخ به این چالش پیشنهاد می‌شود، انجام آماربرداری میدانی یا پرسشگری از افراد در حال تردد در محور موردنظر است. این امر می‌تواند اطلاعات موردنیاز مانند مبدأ و مقصد سفر و یا تعداد سرنشینان وسایل نقلیه (برای محاسبه ضریب سرنشین و یکسان‌سازی واحد تردد) را فراهم کند اما باید زمان و هزینه نسبتاً بالای این کار را در نظر داشت [Jakovljević .et al ,۲۰۲۱].

۴. نتایج

در این بخش، نتایج نهایی این مطالعه که حاصل به‌کارگیری روش‌های ارائه‌شده جهت پردازش و تحلیل مجموعه داده تلفن همراه در دسترس بوده است، ارائه خواهد شد. خروجی‌ها شامل تقاضای سفر مبدأ-مقصد و الگوهای اصلی جریان بین شهرستان‌های مذکور خواهند بود.

۴-۱ تقاضای سفر مبدأ-مقصد با بررسی الگوهای جابجایی

پس از استخراج تقاضای جابجایی بر اساس نمونه داده انتخابی و در سطح نواحی پوشش‌دهی آنتن‌های مخابراتی، با اعمال ضریب تعمیم ناحیه محل سکونت هر کاربر به سفرهای وی، می‌توان تقاضای سفر مبدأ-مقصد در سطح جامعه هدف را برآورد کرد. مشخصات آماری ضرایب تعمیم به‌دست‌آمده برای دو شهرستان تهران و شهریار در جدول (۳) قابل‌مشاهده است.

جدول ۳. مشخصات آماری ضرایب تعمیم به‌دست‌آمده

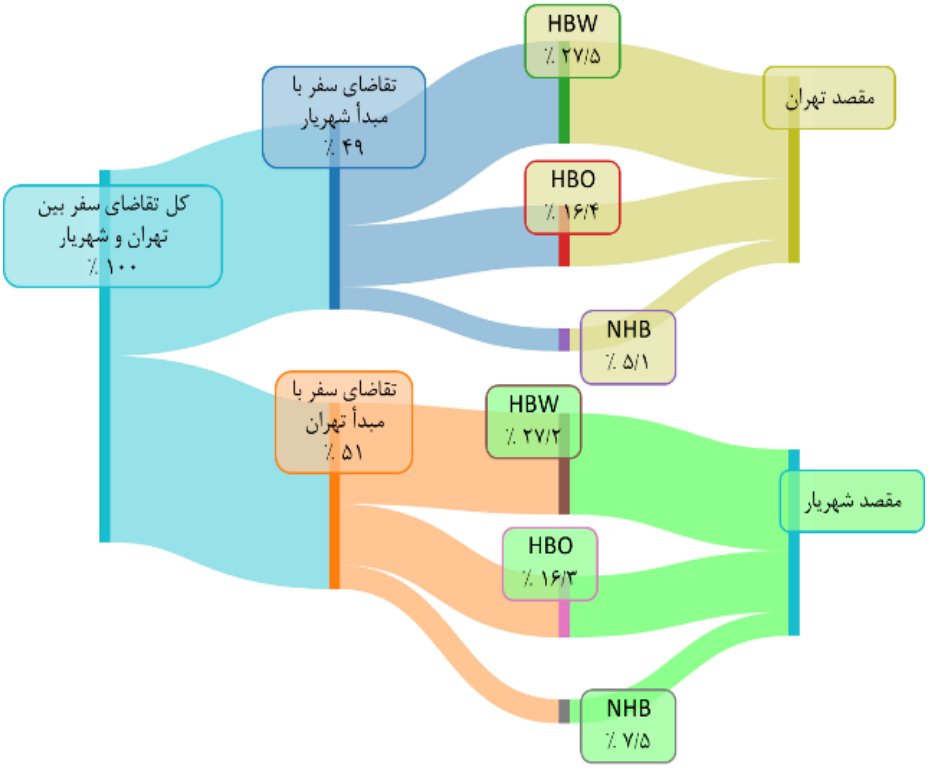
آماره	مقدار
میانگین	۱۴/۹۲۳
میانه	۱۱/۴۰۸
انحراف معیار	۱۶/۸۱۲
واریانس	۲۸۲/۶۵
حداقل	۱
حداکثر	۲۱۵/۲۰۴
چارک اول (۲۵ درصد)	۳/۰۸
چارک سوم (۷۵ درصد)	۲۰/۹۹

پس از تعمیم سفرها، متوسط تقاضای نفر-سفر روزانه از تهران به شهریار و از شهریار به تهران به ترتیب دارای مقادیر ۳۷۸،۵۷۲ و ۳۷۸،۱۳۸ است.

پس از استخراج و به دست آوردن تقاضای سفر مبدأ-مقصد، می‌توان الگوهای اصلی جابجایی بین دو شهرستان تهران و شهریار را مورد تجزیه‌وتحلیل قرارداد. این الگوها کمک می‌کنند تا با سهولت بیشتری جریان‌های اصلی سفر بین شهرستان‌ها

شناسایی شوند. به همین منظور دیاگرام سن‌کی بر اساس جابجایی‌های بین مبدأ و مقصد به تفکیک سفرهای خانه‌مبنای کاری (HBW)، خانه‌مبنای غیر کاری (HBO) و غیر خانه‌مبنا (NHB) ترسیم‌شده و در شکل (۶) قابل‌مشاهده است. لازم به ذکر است که پهنای نوارها با سهم جریان تقاضا با توجه به هدف آن متناسب است. با دقت در شکل (۶) می‌توان دریافت که تقاضای سفر بین دو شهرستان منتخب از استان تهران، تقریباً به‌صورت برابر تقسیم‌شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، بیش از نیمی از سفرهای با مبدأ هر دو شهرستان را سفرهای خانه مبنای کاری تشکیل داده‌اند (۲۷/۵ درصد از شهریار به تهران و ۲۷/۲ درصد از تهران به شهریار).

در جایگاه بعدی سفرهای خانه مبنای غیر کاری قرار دارند که آن‌ها نیز حجم قابل‌توجهی از سفرهای بین دو شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند (درمجموع حدود ۳۳ درصد از کل تقاضای موجود). در میان تقاضای برآوردشده با اهداف گوناگون، سفرهای غیر خانه‌مبنا کمترین میزان را دارند که این امر نشان‌دهنده آن است که در سفرهای بین دو شهرستان، اکثر سفرهای کاربران دارای مبدأ یا مقصد خانه بوده است.



شکل ۶. دیاگرام سن‌کی مربوط به تقاضای سفر بین دو شهرستان با اهداف سفر گوناگون

از مواردی که برآورد تعداد سفر بین دو شهرستان هم‌جوار تهران و شهریار را حائز اهمیت می‌کند می‌توان به تقاضای بالای سفر به سمت تهران به دلیل تجمع و تراکم کاربری‌های اداری، تجاری و درمانی در تهران اشاره کرد. با در نظر داشتن هزینه پایین‌تر معیشت در شهریار نسبت به تهران، نزدیکی به تهران (فاصله کمتر نسبت به شهرستان‌های شرقی و شمالی) و آب‌وهوای بهتر آن در مقایسه با تهران موجب ایجاد جریان قابل‌توجهی از تقاضا به سمت شهریار شده است.

۴-۲ ارزیابی تقاضای سفر برآوردشده

در این مطالعه مبنای مقایسه و صحت سنجی تقاضای سفر برآوردشده، داده‌های ترددشماری سامانه ۱۴۱ سازمان راهداری است که در همان بازه زمانی مطالعاتی موردنظر یعنی ۲۵ الی ۲۹ اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۰ ثبت‌شده‌اند. داده‌های حقیقی

ترددشماری همان‌طور که در مطالعات طرح جامع برای کنترل نتایج مورداستفاده قرارگرفته‌اند، در این پژوهش نیز می‌توانند معیار مطلوبی برای ارزیابی خروجی‌های به‌دست‌آمده باشند [Iqbal .et al ,۲۰۱۴] [Golding ,۲۰۱۸].

ترددشمارها باوجود داشتن مزایایی مانند ثبت تقریباً مداوم عبورومرور وسایل نقلیه و به تفکیک ۵ کلاس مختلف، که آن‌ها را به منابع داده به‌روز و قابل‌اعتمادی تبدیل می‌کند، دارای برخی مشکلات نیز هستند. به‌عنوان‌مثال، می‌توان به خرابی حسگرهای ترددشمار به مدت چند ساعت یا چند روز و جمع‌آوری ناقص داده‌ها در برخی بازه‌های زمانی اشاره کرد.

در این مطالعه برای مقایسه، شهرستان شهریار با مبدأ تهران (جهت رفت) و مقصد تهران (جهت برگشت) در نظر گرفته‌شده است. در محور مذکور، ترددشمارهای موجود برای جریان‌های ورودی و خروجی شناسایی شدند و داده‌های آن‌ها بکار گرفته‌شده است تا اثر وسایل نقلیه‌ای که صرفاً از محور عبور کرده‌اند (و در مبدأ و مقصد موردنظر توقف نداشته‌اند) به حداقل برسد. نتایج حاصل از تقاضای برآوردشده با داده‌های ترددشمارها با استفاده از آزمون پیرسون و ضریب همبستگی آن طبق رابطه (۷) مورد مقایسه قرارگرفته‌اند. لازم به ذکر است که برازش نقاط به‌منظور یافتن مقدار شیب و زاویه خط برازش صورت می‌گیرد که میزان معناداری آن توسط ضریب همبستگی و آماره پیرسون بررسی می‌شود.

$$r = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \Sigma(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (۷)$$

نکته قابل‌توجه در اینجا این است که دو کمیت مورد مقایسه دارای واحدهای متفاوتی هستند. به این صورت که تعداد سفرهای برآوردشده با واحد نفر–سفر به‌دست‌آمده و داده‌های شمارش احجام توسط ترددشمارها با واحد وسیله نقلیه–سفر گزارش‌شده‌اند. به‌منظور یکسان‌سازی واحدهای اندازه‌گیری، در اختیار داشتن دو مقدار ضریب سرنشین و سهم تردد شیوه‌های حمل‌ونقلی ضروری است. به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق و قابل‌اعتماد برای موارد بیان‌شده در ترددهای بین‌شهری استان تهران، در پژوهش پیش رو اطلاعات موردنیاز با آماربرداری میدانی جمع‌آوری شدند. با اطلاعات به‌دست‌آمده از آماربرداری مذکور، ضریب سرنشین متوسط ساعتی (برحسب کلاس وسیله نقلیه و برحسب نوع وسیله نقلیه) و همچنین سهم تردد ساعتی (برحسب کلاس وسیله نقلیه و برحسب نوع وسیله نقلیه) به تفکیک بازه‌های اوج صبح، غیر اوج ظهر و اوج عصر به دست آمدند که از نتایج آن‌ها برای ارزیابی استفاده‌شده است. با توجه به کلاس‌بندی ارائه‌شده توسط سازمان راهداری، وسایل نقلیه عبوری در محور موردنظر طبق جدول (۴) کلاس‌بندی شده‌اند.

جدول ۴. کلاس‌بندی وسایل نقلیه عبوری

کلاس وسایل نقلیه	نوع وسایل نقلیه هر کلاس
۱	خودروی سواری، وانت و ون
۲	کامیون سبک دومحور و مینی‌بوس
۳	کامیون معمولی سه‌محور
۴	اتوبوس
۵	تریلر و کامیون‌های بالاتر از سه‌محور

نتایج متوسط ضریب سرنشین و سهم تردد طبق آماربرداری در جدول (۵) نشان داده‌شده است.

جدول ۵. متوسط ضریب سرنشین و سهم تردد آماربرداری

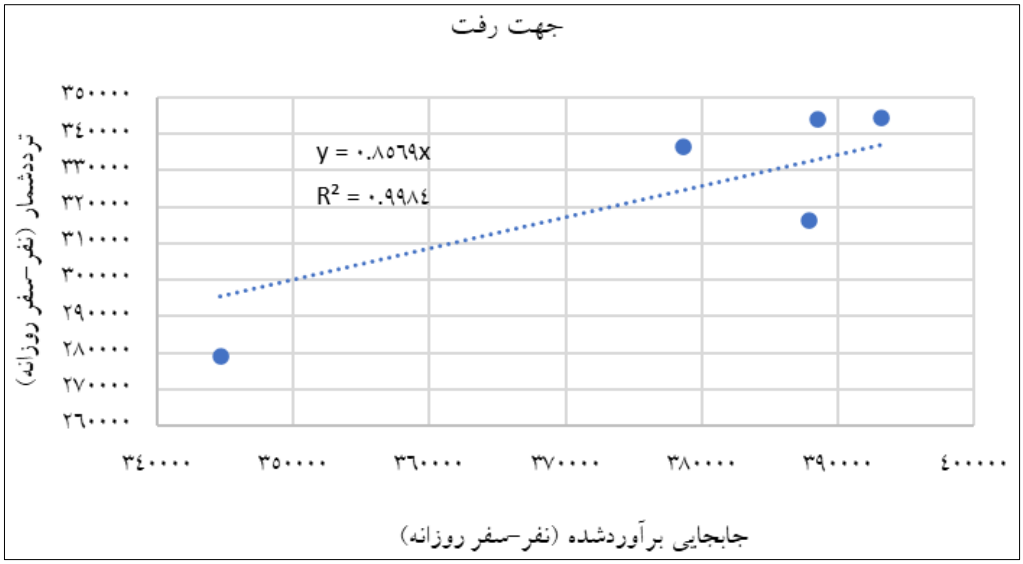
کلاس وسایل نقلیه	ضریب سرنشین متوسط	سهم تردد متوسط
۱	۱/۸۴	۹۳/۲۵
۲	۱/۵۳	۳/۱۵
۳	۱/۳۶	۱/۳۸
۴	۲۷/۷۵	۱/۳۴
۵	۱/۲۵	۰/۸۸

۴-۲-۱ نتایج ارزیابی تقاضای سفر برآوردشده

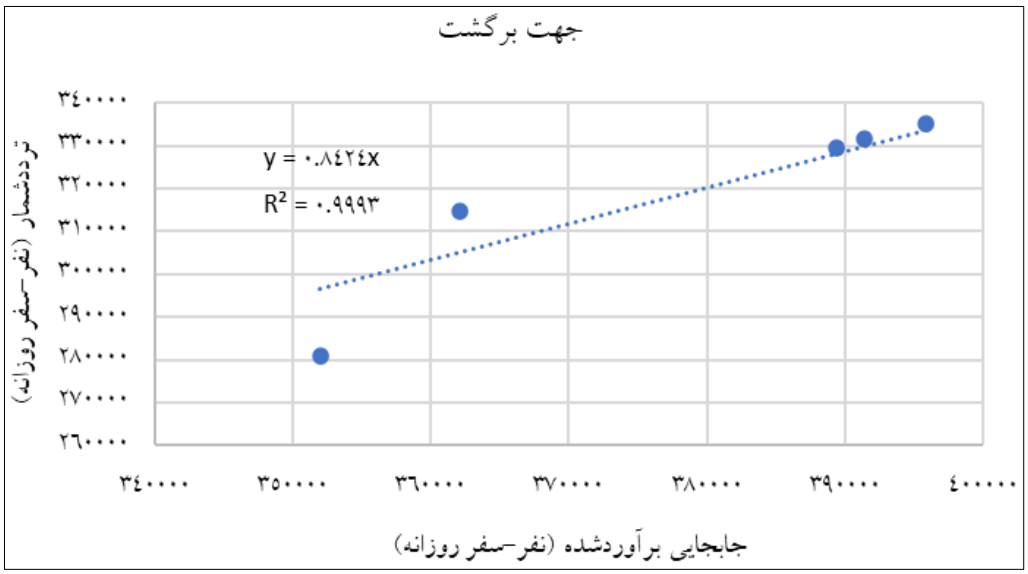
با آماده‌سازی دو مجموعه داده و یکسان‌سازی واحدهای آن‌ها، مقایسه تقاضای سفر مبدأ–مقصد با داده‌های ترددشماری قابل انجام است. تعداد سفرهای به‌دست‌آمده برحسب متوسط نفر–سفر روزانه برآورد شده‌اند و مربوط به همه اهداف سفر هستند. داده‌های ترددشماری نیز با استفاده از ضریب سرنشین حاصل از

آماربرداری، به واحد نفر–سفر تبدیل‌شده‌اند. معیار انتخابی برای ارزیابی و همین‌طور درک بهتر نتایج مقایسه، برازش نقاط دو مجموعه داده و کنترل شیب خط برازش توسط آزمون پیرسون است.

ضریب همبستگی پیرسون در جهت رفت (از تهران به شهریار) و در جهت برگشت (از شهریار به تهران) برای این مقایسه طبق رابطه (۷) به ترتیب برابر با مقادیر ۰/۹۹۹۱ و ۰/۹۹۹۶ به‌دست‌آمده‌اند که بیانگر قابل‌قبول بودن تقاضای سفر برآوردشده با استفاده از داده‌های شبکه تلفن همراه و الگوریتم پیشنهادی این مطالعه است. لازم به ذکر است که مقادیر ضریب همبستگی پیرسون نزدیک به ۱+ بیانگر همبستگی مستقیم بین دو مجموعه داده است. نمودار برازش نقاط و نتایج تحلیل میزان معناداری شیب خط برازش طبق آزمون پیرسون با بازه اطمینان ۹۵ درصد برای جهت رفت به ترتیب در شکل (۷) و جدول (۶) و برای جهت برگشت به ترتیب در شکل (۸) و جدول (۷) قابل‌مشاهده هستند.



شکل ۷. نتایج برازش در جهت رفت



شکل ۸. نتایج برازش در جهت برگشت

جدول ۶. معناداری شیب خط برازش توسط آزمون پیرسون در جهت رفت

	ضریب	مقدار P	ضریب پیرسون
شیب خط برازش	۰/۸۵۶۹	۹/۷۳E-۷	۰/۹۹۹۱

جدول ۷. معناداری شیب خط برازش توسط آزمون پیرسون در جهت برگشت

	ضریب	مقدار P	ضریب پیرسون
شیب خط برازش	۰/۸۴۲۴	۱/۷E-۷	۰/۹۹۹۶

با توجه به شکل‌های (۷) و (۸) خطوط برازش زاویه‌ای نزدیک به ۴۵ درجه با راستای افق دارند و همچنین شیب آن‌ها بیش از ۰/۸ (نزدیک به ۱) است. این نتایج بیانگر برازش مناسب نقاط مربوط به جابجایی برآوردشده و احجام گزارش‌شده ترددشمارها است. با دقت در جدول‌های (۶) و (۷)، مشهود است که ضرایب پیرسون به‌دست‌آمده مقادیری بیشتر از ۰/۹ دارند. این مقادیر نزدیک به ۱، بیانگر همبستگی مثبت میان دو مجموعه داده موردبررسی است که درواقع نتایج مطلوبی هستند. مقدار *P-value* برای تحلیل معناداری شیب خطوط برازش محاسبه‌شده است. این مقدار برای هر دو جهت رفت‌وبرگشت کمتر از ۰/۰۵ (سطح معناداری) به‌دست‌آمده و بنابراین می‌توان گفت که شیب خطوط برازش اتفاقی نیستند و معنادار هستند. با دقت در مطالعات پیشین که ارزیابی‌های خود را از طریق طرح‌های جامع و یا داده‌های ترددشماری انجام داده‌اند، می‌توان دریافت که آن‌ها نیز کارآمدی داده‌های تلفن همراه در برآورد تقاضای سفر را تصدیق می‌نمایند. مانند نتایج مقایسه مطالعه الکساندر و همکاران با ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۹۵ در مقایسه با طرح جامع [Alexander .et al ,۲۰۱۵]، مطالعه درویش‌زاده کاخکی و همکاران با ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۹۳ در مقایسه با طرح جامع [Darvishzadeh Kakhki ,۲۰۲۲ et al.]، مطالعه اقبال و همکاران با خطای میانگین مربعات ۳۳۵/۰۹ (۱۳/۵۹ درصد) در مقایسه با داده‌های ترددشماری واقعی [Iqbal .et al ,۲۰۱۴] و پژوهش حاضر با استفاده از رویکردی مشابه مطالعات گذشته (مقایسه تقاضای برآوردشده از طریق داده تلفن همراه با داده‌های ترددشماری واقعی) با ضرایب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۹۹۱ در جهت رفت و ۰/۹۹۹۶ در جهت برگشت، همگی بیانگر عملکرد مناسب داده‌های تلفن همراه در برآورد تقاضای سفر هستند.

نتایج شاخص‌های موردبررسی نشان می‌دهند که با پردازش و تحلیل مجموعه داده‌های شبکه تلفن همراه، می‌توان به‌طور مناسبی روند تقاضای بین‌شهری در مقیاس کلان را برآورد نمود. بنابراین این امکان وجود دارد که از این نوع داده‌ها به‌تنهایی یا در کنار مجموعه داده‌های مکمل دیگر، به‌عنوان منبعی قابل‌اتکا در تحلیل‌های حمل‌ونقلی با ضریب اطمینان بالا در نتایج بهره گرفت.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه روش‌هایی به‌منظور برآورد تقاضای سفر مبدأ-مقصد از طریق داده‌های تلفن همراه ارائه شدند که نتایج مطلوب و قابل قبولی داشتند. همچنین، رویکردی مؤثر بر اساس روش مکانی-زمانی و دومرحله‌ای برای شناسایی نقاط توقف کاربران و تعیین هدف از حضور آن‌ها در آن نقاط (اقامت در خانه، فعالیت شغلی و سایر) معرفی‌شده است. نکته حائز اهمیت دیگر، شناسایی نقاط فعالیت افراد در مقیاس خرد نواحی پوشش‌دهی آنتن‌های مخابراتی است که این امکان را برای تحلیلگر حمل‌ونقلی فراهم می‌کند تا بتواند جابجایی‌های برآوردشده را در سطوح مختلف (استان، شهرستان، شهر، دهستان و ...) هم‌فزون کند. تعمیم تقاضای سفر اولیه به جامعه هدف، با استفاده از هرم سنی جمعیت استان، ضریب نفوذ تلفن همراه در گروه‌های مختلف سنی، مساحت همپوشانی نواحی مخابراتی (سلول‌های ورونوی) در شهرستان‌ها و جمعیت داخل هر ناحیه مخابراتی صورت گرفته است که روشی قابل‌قبول ازلحاظ در نظر گرفتن خصوصیات جمعیتی جامعه است. پس از استخراج تقاضای سفر مبدأ-مقصد، جریان‌های اصلی تقاضا بین دو شهرستان از طریق دیاگرام سن‌کی مورد تحلیل قرار گرفتند. با در نظر گرفتن این موضوع که مطالعه طرح جامع در سطح استان

تهران موجود نبوده است، از داده‌های حقیقی شمارش احجام عبوری توسط ترددشمارهای بین‌شهری سامانه ۱۴۱ برای ارزیابی تقاضای مبدأ-مقصد برآوردشده استفاده‌شده است. همان‌طور که در بخش ارزیابی نتایج به آن اشاره شد، برآورد مناسبی از میزان تقاضای جابجایی بین شهرستان‌های تهران و شهریار صورت گرفته است و الگوهای جریان تقاضا به‌خوبی منعکس‌شده‌اند.

به‌عنوان پیشنهاد برای مطالعات آتی می‌توان در صورت امکان، از سایر منابع داده کاربردی مانند اطلاعات کاربری‌های زمین یا اطلاعات جمعیت شناختی نمونه‌ای از کاربران تلفن همراه بهره برد تا بتوان اهداف سفر بیشتری را با توجه به نوع استفاده کاربران از تلفن همراه شناسایی کرد. به‌عنوان‌مثال، می‌توان با بررسی و تحلیل مواردی مانند تعداد دفعات و مدت‌زمان مکالمه با تلفن همراه، تعداد پیامک‌های ارسالی و دریافتی کاربر و یا میزان استفاده از اینترنت سیم‌کارت، اهداف سفر کاری و «سایر» را به دسته‌بندی‌های جزئی‌تر تقسیم کرد. با در اختیار داشتن معیاری قابل‌اعتماد جهت ارزیابی نتایج، می‌توان از تقاضای برآوردشده در سطوح هم‌فزونی جزئی‌تر (مانند دهستان، بخش و یا شهر) برای ساخت مدل‌های خردنگر حمل‌ونقلی باکیفیت بالا بهره گرفت. در ضمن می‌توان با استفاده از نمودارهای توزیع احتمالی مربوط به زمان ورود و خروج از محل فعالیت برای اهداف مختلف سفر، برای اصلاح برچسب زمانی شروع و پایان فعالیت کاربران تلفن همراه اقدام کرد. همچنین می‌توان از داده‌های تلفن همراه در دسترس برای شناسایی و استخراج سایر رفتارهای سفر افراد در سطح استان مانند نرخ سفر روزانه و زنجیره‌های سفر استفاده کرد. درنهایت به‌منظور تدقیق تقاضای برآوردشده از طریق داده‌های تلفن همراه، می‌توان از مدل‌های پیشنهادی مانند TFlowFuzzy و Least Square در نرم‌افزار شبیه‌سازی Visum بهره گرفت و نتایج آن‌ها را ازنظر عملکرد و دقت در اصلاح با یکدیگر مورد مقایسه قرار داد.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Big Data
2. Penetration Rate
3. Location Update
4. Pearson Correlation Coefficient
5. P-value
6. Socio-economic
7. Mobile Network Data
8. Population Pyramid
9. Call Detail Records
10. Origin – Destination Matrix
11. Ping-Pong Effect
12. Medoid
13. Triangulation Methods
14. Antenna-based
15. Stay Points
16. Stop Points
17. Machine Learning
18. Mean Squared Error
19. Ground Truth Data
20. Trip Diary
21. Synthetic Mobile Data
22. Activity – Travel Pattern
23. Expansion Factor
24. Bayesian Rules
25. Agglomerative Clustering Algorithm
26. Voronoi Diagram
27. Resolution
28. HandOvers
29. Linkage Criteria
30. Root Mean Square Error
31. Coefficient of Determination
32. Sankey Diagram
33. Screen Line
34. Home-Based Work
35. Home-Based Other
36. None Home-Based
37. Regression
38. Occupancy Rate
39. Transportation Modes
40. Demographic Information

۷. مراجع

- اربابی بیدگلی، محمد (۱۳۹۷) "برآورد ماتریس تقاضای مبدأ-مقصد با داده‌های شمارش حجم و شبکه تلفن همراه (مطالعه موردی: شهر شیراز)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما:

یوسف شفاهی، تهران: دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی شریف.

– افتخار، زهرا (۱۳۹۷) "برآورد جدول تقاضای سفر مبدأ–مقصد با استفاده از داده‌های مکانی–زمانی شبکه تلفن همراه گردآوری‌شده به روش PLU"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: یوسف شفاهی، تهران: دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی شریف.

– درویش‌زاده کاخکی، مهدی یار و رحمانی، سعید و شریعت مهیمنی، افشین و عبداللهی، سینا (۱۴۰۱) "مطالعه رفتار سفر افراد با استفاده از داده‌های تلفن همراه (CDR) مطالعه موردی شهر تهران"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال سیزدهم، شماره اول.

– مرکز آمار ایران (۱۴۰۰) "جمعیت استان تهران"، بازیابی شده از جمعیت–تهران/https://ssis.sci.org.ir

– مرکز آمار ایران (۱۴۰۰) "ضریب نفوذ تلفن همراه به ازای گروه‌های جمعیتی مختلف بر اساس نتایج طرح آمارگیری برخورداری خانوارها و استفاده افراد از فناوری اطلاعات و ارتباطات در سال ۱۳۹۶"، بازیابی شده از ضریب–نفوذ–خانوارها–اطلاعات–ارتباطات/https://ssis.sci.org.ir

– مرکز مدیریت راه‌های کشور (۱۴۰۰) "داده‌های ترددشمارها"، بازیابی شده از https://141.ir/trafficcounterfiles

- Alexander, L., Jiang, S., Murga, M., and González, M. C. (2015) "Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.58, pp.250-240.

- Barboza, M. H., Alencar, R. d. S., Chaves, J. C., Silva, M. A., Orrico, R. D., and Evsukoff, A. G. (2021) "Identifying human mobility patterns in the Rio de Janeiro metropolitan area using call detail records", Transportation Research Record, Vol.2675, No.4, pp. 221-213.

- Bonnel, P., Fekih, M., and Smoreda, Z. (2018) "Origin-Destination estimation using mobile network probe data", Transportation Research Procedia, Vol.32, pp.81-69.

- Caceres, N., Wideberg, J., and Benitez, F. G. (2008) "Review of traffic data estimations extracted from cellular networks", IET Intelligent Transport Systems, Vol.2, No.3, pp.192-179.

- Calabrese, F., Cobelli, E., Ferraiuolo, V., Misseri, G., Pinelli, F., and Rodriguez, D. (2021) "Using Vodafone mobile phone network data to provide insights into citizens mobility in Italy during the Coronavirus outbreak", Data & Policy, Vol.3.

- Calabrese, F., Di Lorenzo, G., Liu, L., and Ratti, C. (2011) "Estimating Origin-Destination flows using opportunistically collected mobile phone location data from one million users in Boston Metropolitan Area", IEEE Pervasive Computing 10, No.4, pp.36-44.

- Calabrese, F., Pereira, F. C., Di Lorenzo, G., Liu, L., and Ratti, C. (2010) "The geography of taste: analyzing cell-phone mobility and social events", International conference on pervasive computing, Massachusetts: May 2010.

- Çolak, S., Alexander, L. P., Alvim, B. G., Mehndiratta, S. R., and González, M. C. (2015) "Analyzing cell phone location data for urban travel: current methods, limitations, and opportunities", Transportation Research Record, Vol.2526, No.1, pp.135-126.

- Duraku, R., Atanasova, V., and Krstanoski, N. (2019) "Building and calibration transport demand model in Anamorava region", Tehnički vjesnik, Vol.26, No.6, pp.1784-1793.

- Dypvik Landmark, A., Arnesen, P., Södersten, C.-J., and Hjelkrem, O. A. (2021) "Mobile phone data in transportation research: methods for benchmarking against other data sources", Transportation, Vol.48, No.5, pp.2883-2905.

- Eftekhar, Z., Pel, A., and van Lint, H. (2023) "Effects of Periodic Location Update Polling Interval on the Reconstructed Origin–Destination Matrix: A Dutch Case Study Using a Data-Driven Method", Transportation Research Record, Vol.2677, No.9, pp. 292-313.

- Fekih, M., Bellemans, T., Smoreda, Z., Bonnel, P., Furno, A., and Galland, S. (2020) "A data-driven approach for origin–destination matrix construction from cellular network signalling data: a case study of Lyon region (France)", Transportation, Vol.48, pp.1-32.

- Golding, J., (2018). "Best Practices and Methodology for OD Matrix Creation from CDR Data.", NLAB, University of Nottingham.

- Hoteit, S., Secci, S., Sobolevsky, S., Ratti, C., and Pujolle, G. (2014) "Estimating human trajectories and hotspots through mobile phone data", Computer Networks, Vol.64, pp.296-307.

- Imai, R., Ikeda, D., Shingai, H., Nagata, T., and Shigetaka, K. (2021) "Origin-Destination Trips Generated from Operational Data of a Mobile Network for Urban Transportation Planning", Urban Planning and Development, Vol.147, No.1, pp.04020049.

- Iqbal, M. S., Choudhury, C. F., Wang, P., and González, M. C. (2014) "Development of origin–destination matrices using mobile phone call data" Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.40, pp.63-74.

- Jakovljević, M., Vojvodić, S., Čolić, P., Lale, O., and Jovandžikov, E. (2021) "Methodology for Assessment of Mobile Telecom Databased Origin-Destination Matrices Accuracy" 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), Opatija: Sep 27, 2021-Oct 1, 2021.

- Jiang, S., Ferreira, J., and Gonzalez, M. C. (2017) "Activity-based human mobility patterns inferred from mobile phone data: A case study of Singapore", IEEE Transactions on Big Data, Vol.3, No.2, pp.208-219.

- Jiang, W., and Luo, J. (2022) "Big data for traffic estimation and prediction: a survey of data and tools", Applied System Innovation, Vol.5, No.1, pp.23.

- Maulana, A., Santoso, I., and Rizki, M. (2022) "Origin Destination Matrix Estimation for Increasing Traffic Survey Efficiency", The Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14, pp.501-510.

- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). "Cell phone location data for travel behavior analysis", pp.78-99.

- Sun, C., Zhang, P., Shi, Y., and Chang, Y. (2020) "Sensor location strategy and scaling rate inference for origin-destination demand estimation", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.22, No.6, pp.3455-3467.

- Schmidt, M., (2008). "The Sankey diagram in energy and material flow management: part II: methodology and current applications.", Journal of Industrial Ecology, Vol.12, pp.185-173.

- Tsumura, Y., Asada, Y., Kanasugi, H., Arai, A., Shibasaki, R., Kawaguchi, H., and Yamada, K. (2022). "Examining potentials and practical constraints of mobile phone data for improving transport planning in developing countries", Asian Transport Studies, Vol.8, pp.100043.

- Vidović, K. (2022) " Application of Big Data Sets and Data Science in Transportation Engineering", International Conference on New Technologies, Development and Applications, Sarajevo: 25-23 June 2022.

- Wang, Z., He, S. Y., and Leung, Y. (2018) "Applying mobile phone data to travel behaviour research: A literature review", Travel Behaviour and Society, Vol.11, pp.141-155.

- Yang, F., and Yao, Z. (2022) "Empirical Study on Trip Information Extraction Based on Mobile Phone Sensor Data", Travel Behavior Characteristics Analysis Technology Based on Mobile Phone Location Data: Methodology and Empirical Research, pp. 151-182.

سیاوش طاهری نوید درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در سال ۱۴۰۱ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، بررسی رفتار سفر و کار با کلان‌داده‌ها است.

افشین شریعت مهیمنی درجه کارشناسی در مهندسی عمران را در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری را در سال ۱۳۷۴ از همان دانشگاه اخذ نمود. در سال ۱۳۸۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه ریزی حمل ونقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی موردعلاقه ایشان مهندسی ترافیک، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، حمل‌ونقل همگانی، شبیه‌سازی ترافیکی، ایمنی راه و تحلیل داده بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

مهدی‌یار درویش‌زاده کاخکی درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه آزاد مشهد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در سال ۱۴۰۰ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، بررسی رفتار سفر و کار با کلان‌داده‌ها است.