ارائه مدلی جدید جهت به‌کارگیری تاکسی‌های هوشمند در کلان شهر تهران در راستای سازماندهی حمل و نقل عمومی: رویکرد ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا

مقاله پژوهشی-کاربردی

اقدس بدیعی*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
حوریا حاجیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
مهدی غضنفری، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: abadiee@ind.iust.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۱/۱۰- پذیرش: ۹۸/۰٤/۲۸
صفحه ٥٤-۳۱

چکیده

امروزه، یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد بررسی در کلان شهرهای دنیا، چگونگی استفاده از سیستم‌های حمل و نقل عمومی مدرن و تحقیق و توسعه آن ها به شمار می‌آید که حاکی از اهمیت شایان توجه استفاده از این نوع سیستم‌ها در اغلب کشورها است. حال یکی از نوآوری های مهم در سیستم‌های حمل و نقل شهری، استفاده از تاکسی‌های هوشمند و بهبود سیستم‌های سفارش آنلاین می باشد؛ در حالی‌که در کلان شهر تهران هنوز استفاده از تاکسی‌های هوشمند و بهینه‌سازی پوشش شبکه آن‌ها یکی از مسائل مهم شهرداری است. لذا در این مقاله، مدلی جدید با دو استراتژی متفاوت در راستای هوشمندسازی تاکسی های تهران ارائه می گردد. در ابتدا با استفاده از مفهوم زنجیره ی سفر، مدلی با عنوان شبکه زنجیره سفر، منطبق با وضعیت شهر تهران ارائه شده و پس از شناسایی نقاط تقاضای سفر، الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر چگالی، جهت ارزیابی مدل پیشنهادی به کار گرفته شده است. جهت بهبود عملکرد الگوریتم مذکور و تنظیم پارامترهای آن از روش طراحی آزمایشات استفاده شده و سپس مراکز خوشه ها به عنوان ایستگاه های تاکسی هوشمند تعیین گردیده است. نتایج حاصل نشان می دهد که حدود ۵۳/۱۲ درصد از نقاط به دست آمده به عنوان ایستگاه‌های پیشنهادی تاکسی‌های هوشمند در شهر تهران، حتی با وضعیت فعلی قابلیت پیاده‌سازی دارند. همچنین مدل پیشنهادی به صورت همزمان با رویکرد ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا، قابلیت استفاده از حداکثر ظرفیت تاکسی‌ها و کمترین اتلاف وقت مسافران برای دسترسی به تاکسی را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تعادل بین عرضه و تقاضا، تنظیم پارامتر، حمل و نقل هوشمند، خوشه بندی مبتنی بر چگالی، زنجیره‌ی سفر

۱-مقدمه

مشکل تردد و حمل و نقل در شهرهای بزرگ و بویژه در کلان شهر تهران مسئله‌ای است که نوع زندگی تمام اقشار جامعه اعم از مدیر، کارمند، کاسب و دانشجو و محصل و ... را تحت الشعاع قرار داده است. این مشکل علاوه بر اتلاف وقت افراد جامعه از طرفی سبب بروز مشکلات زیست محیطی و از طرف دیگر سبب تحمیل بار اقتصادی سنگینی بر بدنه جامعه و دولت می‌گردد. ترافیک شهر تهران از عمده‌ترین مشکلات این کلان شهر می‌باشد که معضلات متعددی به بار آورده است. از جمله مهم‌ترین آن‌ها، آلودگی هوای تهران خصوصاً در مرکز شهر و مناطق پر رفت و آمد می‌باشد. بدین منظور، تدابیر مختلفی از سوی شهرداری تهران برای رفع این معضل در نظر گرفته شده است. محدوده طرح ترافیک و زوج و فرد یکی از اصلی‌ترین و

بزرگترین اقدامات شهرداری تهران و معاونت حمل و نقل و ترافیک در جهت کاهش حجم خودروها در برخی از مناطق بوده است. اما با توجه به افزایش جمعیت ساکن در شهر تهران و تبدیل این کلان شهر به یکی از بزرگترین قطب‌های تجاری و اداری ایران که منجر به رفت و آمد بیش از حد و هجوم افراد ساکن در حومه برای کار در تهران شده است، باز هم مشکل تردد در شهر و ترافیک، مشکلی محسوس و بزرگترین علت آلودگی هوای این روزهای تهران می‌باشد. ازین رو، ضرورت توسعه شبکه‌های حمل و نقل عمومی مدرن و دسترسی راحت به این سیستم‌ها موجب ترغیب افراد جامعه به استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش حجم خودروهای شخصی می‌گردد. با توجه به پیشرفت سریع سیستم‌های حمل و نقل عمومی در دنیا و خصوصاً سفارش آنلاین تاکسی، خلا وجود یک سیستم سفارش‌دهی تاکسی در ایران خصوصاً کلان شهرهایی چون تهران که ۲۱/۸ درصد از کل سفرهای روزانه در ابن شهر با تاکسی و ون انجام می‌شود، به وضوح مشاهده می‌گردد. با کشف ضرورت هوشمندسازی تاکسی‌های شهر تهران، مطالعاتی از گذشته که به پیاده‌سازی این موضوع در کشورهای مختلف پرداخته بودند، مورد بررسی قرار گرفته که در ادامه به شرح مختصری از آن ها خواهیم پرداخت، تا با ارائه مدل جدیدی بتوان درصد استفاده از حمل و نقل عمومی به خصوص تاکسی را افزایش داد.

در مدل پیشنهادی این مقاله، دو استراتژی مجزا برای انتخاب بهترین تاکسی و بهترین مسافر ارائه شده است. همچنین با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی، شعاع دسترسی برای پوشش کامل شبکه تعیین شده است که منجر به تعیین نقاط شروع از ایستگاه‌های مشخص و حفظ حداقل تعداد تاکسی مورد نیاز در هر ایستگاه می‌شود. با استفاده از مدل پیشنهادی، مشکل پراکندگی خودروها در ساعات اوج ترافیک در سیستم‌های سفارش آنلاین تاکسی نظیر اسنپ و تپ سی و عدم پذیرش مسافر از سوی راننده به دلیل بدی آب و هوا و ترافیک و ... نیز رفع می‌گردد که در هیچ یک از مطالعات پیشین، این موارد مورد توجه قرار نگرفته بود. ادامه این مقاله به شرح زیر است: بخش دوم، شرح مختصری از مطالعات انجام شده در زمینه حمل و نقل هوشمند و تاکسی‌های هوشمند در جهان را بیان می‌نماید. بخش سوم، به بررسی وضعیت ایستگاه های تاکسی و نقاط تقاضا در شهر تهران می‌پردازد. بخش چهارم، شامل مدل پیشنهادی جدیدی است مطابق با نیازهای مربوطه در کلان شهر تهران که در دو فاز ارائه شده است؛ فاز اول جهت ایجاد بستر تاکسی‌های هوشمند با توجه به وضعیت فعلی ایستگاه‌های تاکسی در نظر گرفته شده و فاز دوم مدل ریاضی پیشنهادی برای بهینه نمودن سرویس‌دهی تاکسی‌ها با کمترین اتلاف وقت و صرفه جویی در زمان رسیدن به مسافر است. بخش پنجم، به ارزیابی وضعیت ایستگاه‌های تاکسی هوشمند با توجه به مدل پیشنهادی می‌پردازد. در انتها، نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی بیان شده است.

۲-پیشینه تحقیق

مطالعات انجام شده در گذشته در پی آن بوده است تا با استفاده از مسئله انتخاب مسافر و رساندن او در یک پنجره‌ی زمانی مشخص، مشکلات متعددی در زمینه لجستیک و حمل و نقل عمومی را حل کند. در عمل، تقاضا برای سفر معمولاً یک روز قبل برای رزروهای پیش رو انجام می‌گرفته که محققین تمرکز بیشتری بر این مسئله مبذول داشته‌اند. (Cordeau et al., 2002, Borndörfer et al., 1999, Toth and Vigo, 1997, Vidović et al., 2011) نانری و بارنس با استفاده از رویکرد الگوریتم جستجوی ممنوعه با در نظر گرفتن نوعی تابع جریمه، به دنبال حداقل نمودن هزینه سفر بودند (Nanry and Barnes, 2000). در سال ۲۰۱۰ نیز مطالعه دیگری در رابطه با جستجوی همسایگی با رویکرد ابتکاری برای حداقل نمودن متوسط زمان سفر و هزینه آن صورت گرفت (Parragh et al., 2010). روش دیگری که در مرور ادبیات این حوزه به چشم می خورد، روش ابتکاری دو فازی است (Gendreau et al., 1994, Glover and Laguna, 1997). رویکرد دو فازی، شامل زودترین پنجره زمانیِ درج شده اکتشافی می‌باشد که جواب اولیه را ایجاد می‌نماید و سپس، با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه، به دنبال بهبود جواب اولیه است. نتایج نشان می‌دهد مدل دو فازی برای یافتن جواب‌های سریع و آنی کاراتر است. همچنین به وسیله زنجیره سفرهای

رزرو پیش رو، تعداد ناوگان تاکسی، هزینه عملیات و زمان گشت زدن خالی تاکسی‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. ضمناً می‌تواند باعث گسترش یافتن محدوده سرویس‌دهی تاکسی‌ها بدون تجهیزات و وسایل نقلیه اضافی گردد. این روش در یکی از مطالعات اخیر نیز با در نظر گرفتن مفهوم زنجیره سفر و مفروضات آن در سنگاپور بررسی شده است(Wang et al., 2014). زنجیره سفر به معنی طی کردن سفرهای متوالی به گونه‌ای است که زمان برداشتن مسافر بعدی، بعد از زمان پیاده کردن مسافر قبلی اما با تقریب بسیار خوبی نزدیک به یکدیگر می‌باشد. توابع متعددی را نیز می‌توان به عنوان تابع هدف این مسائل در نظر گرفت، از جمله کاهش تعداد وسیله نقلیه و هزینه برای تاکسیرانی یا کاهش زمان سفر که می‌تواند به معنی کاهش سوخت و هزینه عملیات برای رانندگان باشد. در مدل شبیه سازی شده تاکسی آنلاین در شهر برلین، مسئله اعزام آنلاین تاکسی بر اساس زمان واقعی به وسیله یک مدل ابتکاری، شبیه‌سازی شده و سپس، با تغییر در الگوریتم اعزام یا میزان عرضه و تقاضا، آنالیز و بهینه‌سازی گردیده است. ماسیجوسکی و بیسچوف (Maciejewski and Bischoff, 2015). دو مدل ابتکاری یا به عبارتی دو استراتژی برای مدیریت تاکسی ارائه داده‌اندابن‌که اگر در زمان تماس مشتری و ثبت درخواست، تاکسی بدون مسافر موجود باشد، تاکسی که کمترین فاصله را با مشتری دارد اعزام می‌گردد و در شرایط عدم حضور تاکسی بدون مسافر، انتخاب مسافر برای ارسال تاکسی به ترتیب لیست ثبت درخواست مسافران انجام می شود. و این‌که در زمان تماس مشتری و ثبت درخواست او، اگر تاکسی بدون مسافر در شبکه موجود باشد، به مشتری مورد نظرارسال می‌گردد و پس از اتمام سفر و رسیدن مشتری به مقصد، تاکسی به مشتری که کمترین فاصله را با وی دارد جهت سرویس دهی اعزام می‌شود. به عبارتی با استفاده از استراتژی دوم، تمرکز از رویکرد اولین ورود، اولین خروج به استفاده بهینه و ماکزیمم بهره‌برداری از ظرفیت تاکسی‌ها برای خدمت‌دهی سوق داده شده است. از طرفی کوک و همکاران (Kok et al., 2010) برای بهینه‌سازی زمان اعزام هر وسیله نقلیه با هدف کمینه‌سازی زمان سفر، از مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه با استفاده از پنجره زمانی استفاده کردند. هم‌چنین یوان و همکاران (Yuan et al., 2013) ماکزیمم آنتروپی را در خوشه ها برای پیش بینی توزیع زمان سفر بین دو نقطه در نظر گرفتند، به این نحو که ابتدا GPS روند ترافیک را از دنیای واقعی دریافت می‌کند، سپس با استفاده از ابرهای موجود در دنیای سایبری، اطلاعات را جمع‌آوری و بین تاکسی‌ها منتقل می‌نماید. حتی می‌توان با استفاده از این شرایط، حساسیت زمانی رسیدن را بدست آورد و ارزش اطلاعات زمان واقعی ترافیک را ارزیابی نمود (De Fabritiis et al., 2008). در مقاله راماسامی و سوبرامانی (Ramasamy and Subramani, 2014)، مسیر حرکت بوسیله الگوریتم جستجوی پیشرو توسط رانندگان تاکسی‌های هوشمند بدست می‌آید و هدف آن رسیدن به مقصد در کوتاهترین زمان می‌باشد. این سیستم ساختار فیزیکی مسیر، جریان ترافیک متغیر در زمان و رفتار رانندگان را نیز در نظر می‌گیرد که عملکرد قابل ملاحظه‌ای با متدهای رقیب دارد. البته در برخی مطالعات موجود، شناسایی مسیرهای غیرمشابه براساس متدهایی بر پایه فاصله، چگالی، توزیع و انحراف، صورت گرفته است (Knox and Ng, 1998, Knorr and Ng, 1999, Knorr et al., 2000, Ramaswamy et al., 2000, Breunig et al., 2000, Papadimitriou et al., 2003). در برخی دیگر نیز از متد یادگیری ماشین و داده‌کاوی برای شناسایی مسیرها استفاده شده است(Liao et al., 2010, Li et al., 2007, Sillito and Fisher, 2008). در مطالعه دیگری متد شناسایی مسیر آنلاین با استفاده از داده‌های بزرگ GPS مورد بررسی قرار گرفته است(Zhou et al.). این متد شامل دو مرحله پیشنهاد مسیر و شناسایی آنلاین می‌باشد. در مرحله اول مسیرهای کاندید با استفاده از الگوریتم پیشنهاد مسیر استخراج می‌شوند و در مرحله دوم مسیرهای غیر مشابه برای مسیر تاکسی شناسایی می‌شوند. در ادامه مطالعات سال های اخیر، مقاله‌ای در سال ۲۰۱۵ در رابطه با شبیه‌سازی تاکسی سرویس در مناطق شهری منتشر گردیده است (Grau and Romeu, 2015). هدف این مطالعه، رسیدن به

بهترین سرویس‌دهی تاکسی‌ها با تعداد بهینه و کمترین زمان انتظار برای مسافران شهر بارسلونا بوده است. نویسنده عنوان می‌کند که مطالعات انجام شده عموماً در سه دسته تجمعی، تعادلی و شبیه سازی بوده که به دسته ی سوم کمتر توجه شده است. بنابراین اساس این مقاله متد شبیه‌سازی است که ابزاری قدرتمند برای بررسی مسائل پیچیده، خصوصاً در زمانی که متغیرها ماهیت تصادفی دارند می‌باشد. این متد شبیه سازی، محدودیت مدل تجمعی که توزیع تقاضاها در آن به صورت یکنواخت فرض می‌شود را برطرف می‌نماید. البته مقاله متفاوت دیگری در رابطه با سرویس‌دهی تاکسی به روش اشتراک‌گذاری انجام شده با لحاظ نمودن محدودیت‌های پولی برای مسافران و رانندگان که تا آن زمان در نظر گرفته نشده بود(Ma et al., 2015). در این روش اگر زمان سفر با اشتراک گذاری مسافران به تاخیر افتد غرامت آن را دریافت خواهند کرد و از سوی دیگر رانندگان نیز با مسیرهای اشتراک گذاری سفر درآمد بیشتری کسب می‌کنند.در سال ۲۰۱۶ برای اعزام بهتر تاکسی در مناطق شهری، مدلی به نام کنترل افقی رو به عقب مطرح شد(Miao et al., 2016). هدف این مدل یکسان‌سازی یا به عبارتی ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا با کم کردن فاصله تاکسی‌های بیکار در حال حاضر و پیش بینی آن‌ها در آینده بود. این مدل برای داده‌های جمع آوری شده در امریکا پیاده سازی شده و نشان داد که فاصله تاکسی‌های بیکار را ۵۲ درصد کاهش داده است. این روش با سایر روش‌های پیش‌بینی و چارچوب حل مسائل بهینه سازی، حتی مسائل روباست سازگار می‌باشد. در همان سال، مطالعه دیگری در رابطه با اندازه‌گیری میزان کارایی سیستم‌های سرویس‌دهی تاکسی منتشر گردید که در نیویورک پیاده سازی شد(Zhan et al., 2016). در این مقاله فرض شد که رانندگان تاکسی و مسافران هر دو می‌توانند اطلاعات سفر خود را به اشتراک بگذارند. این روش یک مدل مبتنی بر گراف بود که مسائل بهینه سازی را به شکل گراف تبدیل و حل می‌کرد. هدف، کاهش سفرهای خالی و تعداد تاکسی‌های مورد نیاز برای پاسخگویی و برآورده ساختن تقاضاها بود. در بین مطالعات دیگر در رابطه با سرویس‌دهی تاکسی‌ها در مناطق شهری خصوصاً در ساعات اوج ترافیک، مقاله‌ای منتشر گردید که الگوریتمی مبتنی بر اشتراک‌گذاری و تخصیص تاکسی را توسعه داد(Jung et al., 2016). در این مقاله، از الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شد که با کارایی بالا و به صورت پویا درخواست مسافران را تخصیص می‌داد. از تازه‌ترین مطالعات انجام شده در ارتباط با الزام وجود سیستم‌های سفارش تاکسی به صورت هوشمند، می‌توان به مقاله یونگمی اشاره نمود(Yongmei et al., 2017). این مقاله بستری را برای انتقال اطلاعات مسافر، راننده و مدیریت فراهم کرد. علاوه بر این، راننده پس از دریافت سفارش می‌تواند مسیر بهینه خود تا رسیدن به مسافر را دریافت نماید که این مسیر کوتاه ترین مسیر ممکن نیست بلکه مسیری است که با توجه وضعیت ترافیک در کمترین زمان طی خواهد شد. دیگر ویژگی مورد توجه در این مقاله کاوش اطلاعات مربوط به مسیر می‌باشد که می‌تواند مکان‌های ممکن برای حضور مسافران در زمان‌های خاص را استخراج کند. بنابراین این روش توانسته به بهترین روش تخصیص دست یابد. مقاله بعدی یک مرور کلی بر روش‌های مختلف توصیفی و پیش‌بینانه داده‌کاوی و کاربردهای مختلف آن برای رسیدن به یک سیستم حمل و نقل هوشمند در ابعاد مختلف از جمله شناسایی تنگناهای ترافیکی، پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه مدت در شرایط ناهمگون و ... می‌باشد (Anand et al, 2018.). همچنین به گفته جمیل و اکبر (Jamil & Akbar, 2017)می‌توان با تغییر در نمونه داده جمع آوری شده، سیستم‌های تاکسی هوشمند را با حجم مسافر در زمان فعلی بررسی کرد. به طور مثال با استفاده از داده‌های زمانی و مکانی که به طور موقت با تعداد مسافر بیشتری سروکار دارد، مدل به صورت اتوماتیک به توزیع تاکسی‌ها در سطح شهر اقدام نماید. ارزیابی این مدل در نیویورک با حجم تقاضاهای بالا بررسی و کارایی آن اثبات گردیده است. از نمونه آخرین مطالعاتی که در زمینه مطالعاتی سیستم‌های تاکسی هوشمند انجام گرفته است بررسی رضایت و وفاداری مسافران به سیستم تاکسی هوشمند توسط ژین و همکاران(Xin et al., 2018) می‌باشد

که با ارائه یک مدل جامع ارزیابی رضایت مشتری، میزان وفاداری و سایر فاکتورهایی که منجر به شکایت مسافران می‌گردد را بررسی نموده‌اند و سپس با آنالیز عملکرد سیستم‌های هوشمند، مشکلات بالقوه سیستم و نگرش عموم مردم جامعه را نسبت به این سیستم مورد مطالعه قرار داده‌اند.

در مطالعات داخلی نیز در ارتباط با ادبیات موضوع، برخی نویسندگان مدیریت تقاضای سفرهای بلند کاری به محدوده مرکزی شهر تهران را مورد نظر قرار داده‌اند. بر این اساس با استفاده از رویکرد چند سیاستی در مدیریت تقاضای حمل‌ونقل، شناسایی اثرات دو سیاست جذبی (کاهش زمان سفر سیستم‌های همگانی و بهبود دسترسی به سیستم های همگانی) و سه سیاست دفعی (قیمت گذاری سوخت، قیمت گذاری پارکینگ و اخذ ورودیه به مرکز شهر) در سفرهای کاری به مرکز شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. [حبیبیان و همکاران، ۱۳۹۶] از سوی دیگر روش جدیدی برای طراحی شبکه حمل‌ونقل همگانی مبتنی بر الگوریتم تولید مسیر پیشنهاد شده است که معیار فاصله برای هر دو گره از مسیر و معیار کمینه زمان سفر را نیز درنظر می‌گیرد و تلاش می‌کند تا با بهبود بیشتر شرایط برای کاربران، جواب مسأله به شرایط واقعی نزدیک‌تر شود. [سید ابریشمی و همکاران، ۱۳۹۶] پژوهشگر دیگری نیز یک سیستم چند عامله جدید را که از هوش تجمعی استفاده می‌کند، برای مدیریت عبور و مرور ارائه کرده است. به این منظور از هوش تجمعی برای کاهش زمان محاسبات استفاده شده است. وسایل نقلیه ورودی، در مجموعه‌ای از مسیرها، توزیع، زمان طی شده مسیر، کاهش و اطلاعات عبور و مرور به صورت بلادرنگ برای وسایل نقلیه امدادی افزایش یافته است. [حمیدی، ۱۳۹۵]. پس از مطالعه مقالات منتشر شده در این حوزه، به این نتیجه می‌رسیم که مدل ارائه شده در این مقاله، از مفهوم زنجیره سفر که توسط ماسیجوسکی و بیسچوف (Maciejewski and Bischoff 2015) معرفی شد، الهام گرفته است. در مقاله مذکور، معیار انتخاب سفر بعدی تنها زمان رسیدن تاکسی به مسافر از میان لیست مسافران بوده است و تاکسی‌ها به صورت پراکنده آغاز به کار نموده‌اند. در حالی‌که در مدل پیشنهادی این مقاله، دو استراتژی مجزا برای انتخاب بهترین تاکسی و بهترین مسافر ارائه شده است. همچنین با استفاده از الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر چگالی، شعاع دسترسی برای پوشش کامل شبکه تعیین شده است که منجر به تعیین نقاط شروع از ایستگاه‌های مشخص و حفظ حداقل تعداد تاکسی مورد نیاز در هر ایستگاه می‌شود.

۳-بررسی سیستم های تاکسی هوشمند و وضعیت ایستگاه های تاکسی و نقاط تقاضا در شهر تهران

به طور کلی، خطوط تاکسیرانی در شهر تهران و تعداد ایستگاه‌های موجود در حالت فعلی شامل ۱۵٤٦ خط به صورت رفت و برگشت با کدهای مختلف می‌باشد. ازین رو با توجه به منطقه‌بندی ۲۲ گانه موجود در شهر تهران، بر آن شدیم تا در این مرحله به شناسایی نقاط مهمی که سبب تقاضای سفر و به عبارتی تولید یا جذب سفر در مناطق مختلف می‌شوند، اقدام نماییم. مهمترین این نقاط شامل بیمارستان‌ها، فروشگاه‌ها و مراکز خرید، تئاتر و سینما و غیره هستند که به تفکیک در جدول شماره ۱ ارائه شده‌اند. پس از شناسایی این نقاط، مختصات جغرافیایی آن‌ها از نرم افزارGIS استخراج گردیده که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشند. همان‌گونه که از تجمع نقاط تقاضا در شکل شماره ۱ پیدا است، بیشترین تعداد این نقاط در مرکز شهر و مناطق ٦، ۷، ۱۱ و ۱۲ می باشد. ضمناً تمامی خطوط تاکسی موجود نیز در شکل ۲ قابل مشاهده است. از طرفی با بررسی سیستم‌های سفارش آنلاین تاکسی در شهر تهران، می‌توان به دو نمونه از پرکاربرترین آن‌ها اعم از اسنپ و تپسی اشاره نمود. مدل سفارش آنلاین تاکسی در اپلیکیشن اسنپ و تپسی که از اولین سیستم‌های هوشمند سفارش آنلاین تاکسی در شهر تهران بوده-اند، یک مدل زنجیره سفر بدون نقطه شروع مشخص و به صورت پراکنده در سطح شهر می‌باشد، بدین صورت که خودروهای موجود در سیستم از هر نقطه‌ای می‌توانند اقدام به

خدمت دهی به مسافر نمایند و با ثبت درخواست از جانب مسافر، نزدیک‌ترین خودرو براساس موقعیت مکانی تا مسافر مربوطه جهت خدمت‌دهی انتخاب شده و اطلاعات سفر برای راننده ارسال می‌گردد. ازین رو مدل سفارش تاکسی سیستم های نام برده با سه اشکال اساسی و عمده در شهر تهران مواجه است: تعداد خودروهای موجود در مرکز و شرق تهران خصوصاً محدوده طرح ترافیک و عموماً در ساعات اوج ترافیک صبح و عصر، بسیار کم و در برخی موارد تا ساعات طولانی موجود نمی‌باشد؛ در حالی‌که در همان مناطق ایستگاه‌های تاکسی در میادین شهر در برخی از خطوط، حتی خودروهای فاقد مسافر دارند. خودروهای فعال در این سیستم‌ها خودروهای شخصی و فاقد طرح ترافیک در محدوده مشخص شده در شهر تهران می‌باشند و یا در برخی از موارد محدودیت زوج و فرد مانع از پذیرش سفر توسط راننده می‌گردد، در حالیکه عموم تاکسی‌های شهر تهران یا در محدوده تعیین شده فعالیت دارند که به صورت پیش فرض دارای طرح می‌باشند و یا در برخی موارد از عبور تاکسی‌ها در محدوده طرح ترافیک و ثبت تخلف توسط دوربین‌ها چشم‌پوشی می‌گردد. مبنای افزایش قیمت در سیستم‌های سفارش آنلاین تاکسی نام برده براساس حجم ترافیک بوده و در ساعات مختلف نوسان داشته و به صورت پیش فرض در روزهای مختلف هفته و ساعات روز نیز قابل پیش بینی نیست. لذا با هر قیمتی برخی مسافران مجبور به قبول سفر می‌باشند.

ازین رو ارائه یک مدل زنجیره سفر منطبق با شرایط فعلی شهر تهران که سعی بر رفع مشکلات نام برده را نیز مد نظر قرار دهد لازم به نظر می‌رسد که مبنای این مقاله نیز بر همین اساس می‌باشد. در ادامه، مدل پیشنهادی با دو استراتژی مختلف برای انتخاب تاکسی و انتخاب مسافر به تفصیل شرح داده شده است.

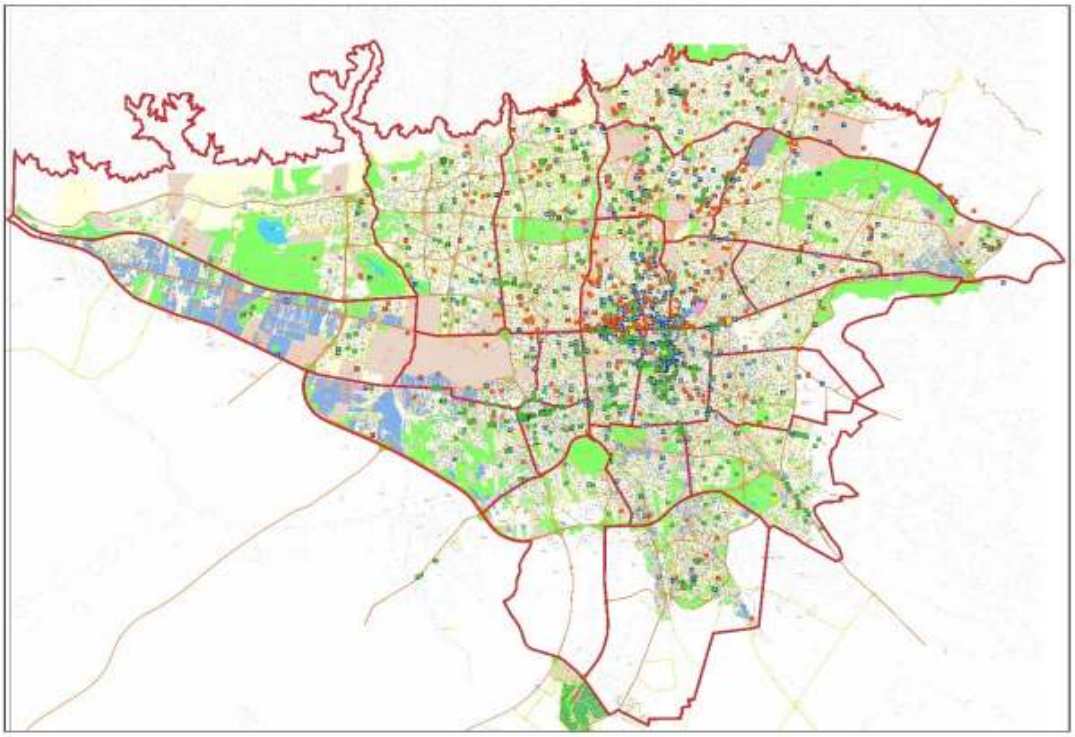
مدل پیشنهادی با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در بخش قبل و وضعیت موجود در تهران و با در نظر گرفتن سیاست های کشور، مدل پیشنهادی برای سفارش تاکسی های هوشمند در شهر تهران به شرح زیر می‌باشد. فاز اول: تعریف چارچوب و تعداد تاکسی‌های هوشمند شهر تهران برای ایجاد امکان دسترسی در تمامی نقاط کلان شهر تهران لازم است تا تاکسی‌های شهر تهران که در پایانه‌های تاکسی موجود در میادین مستقر هستند در این شبکه هوشمند در نظر گرفته شوند تا مطابق وضعیت فعلی دسترسی به تمامی نقاط شهر تهران به سهولت امکان پذیر بوده و خللی در پوشش شبکه وارد نشود. در این صورت بدون نیاز به پراکنده نمودن تاکسی‌ها در شهر تهران و برهم زدن نقطه آغازین برای شروع سرویس‌دهی، وضعیت موجود حفظ می‌گردد و همزمان گام بزرگی در هوشمندسازی تاکسی توسط تاکسیرانی تهران برداشته خواهد شد. نکته دیگر اینکه برای جلوگیری از برهم زدن روال فعلی در ایستگاه‌های تاکسی، با توجه به میزان تقاضا برای جابه‌جایی شمال به جنوب و یا شرق به غرب تهران، با تدابیر شهرداری تهران و تاکسیرانی، تعداد مشخصی از تاکسی‌های مربوطه در هر پایانه تاکسی مجهز به سیستم سفارش هوشمند گردیده و با ثبت و دریافت وضعیت هر تاکسی توسط GPS از هر گونه اقدامی خارج از چارچوب تعریف شده برای سرویس‌دهی هوشمند جلوگیری شود. بهتر است تعداد این تاکسی‌های هوشمند مورد نیاز با توجه به میزان سفرهای روزانه در هر منطقه اعم از سفرهای تفریحی، خرید، شغلی و غیره که اطلاعات آن در دسترس می‌باشد، تعیین گردد.

فاز دوم : ارائه مدلی جدید با عنوان مدل شبکه‌ای زنجیره سفر با رویکرد تعادل بین تقاضا و تامین در این بخش از مدل ریاضی که در (Maciejewski and Bischoff, 2015) نیز با عنوان استراتژی جدیدی از زنجیره سفر به آن اشاره گردید و به ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا معروف است، استفاده شده است. لازم به ذکر است تغییرات صورت گرفته در مدل پیشنهادی، شامل دو استراتژی مختلف برای انتخاب نزدیک‌ترین تاکسی بیکار به مسافر در آغاز مدل و سپس انتخاب بهترین مسافر برای تاکسی در حال خدمت و آغاز سفر بعدی می‌باشد. بدین ترتیب که در ابتدا و برای آغاز مدل، تاکسی بیکار بر اساس کوتاه‌ترین فاصله از مسافر انتخاب می‌گردد، سپس استراتژی دوم بر اساس انتخاب بهترین (نزدیک ترین) مسافر با توجه به زمان رسیدن تاکسی در حال خدمت می‌باشد. این انتخاب بااستفاده از استراتژی دوم در

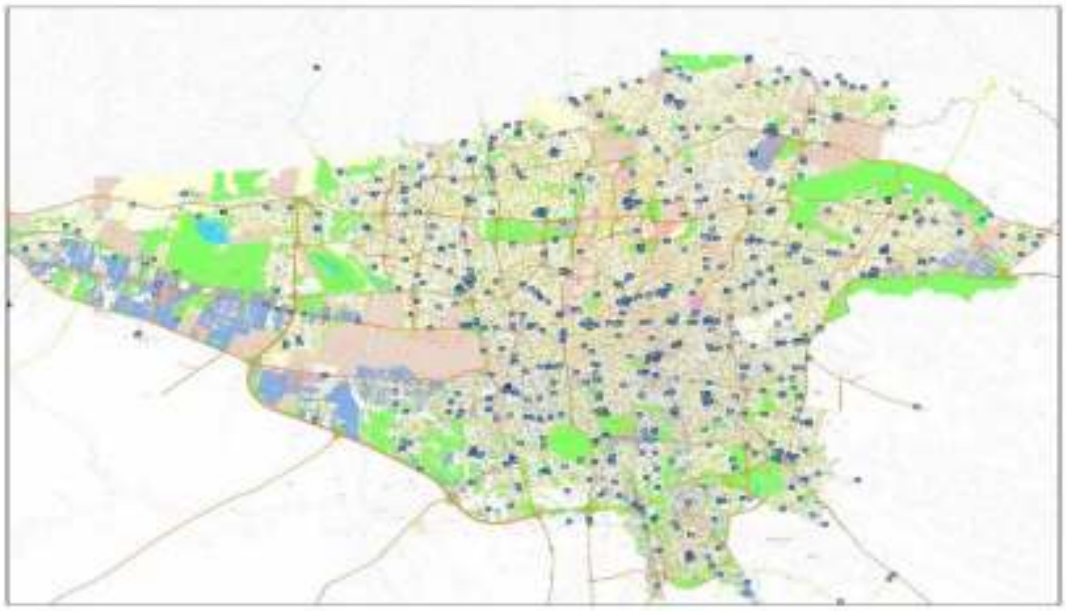
لحظه و با در نظر گرفتن شرایط ترافیکی موجود و موقعیت تاکسی در حال خدمت نسبت به مسافر می‌باشد. لذا همان گونه که در مرور ادبیات موضوع از برقراری تعادل بین تقاضا و تامین نام برده شده‌است، مزیت آن نسبت به استراتژی ابتدایی مدل، تصمیم گیری در لحظه و با توجه به عدم قطعیت در تعداد تقاضاها و شرایط ترافیکی می‌باشد. به همین منظور مدل جدیدی با عنوان مدل شبکه ای زنجیره سفر با ایجاد تعادل بین تقاضا و تامین ارائه می‌گردد. چگونگی سرویس‌دهی تاکسی‌های هوشمند در مدل مذکور به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۱. شناسایی نقاط تقاضا و مبدا و مقصد سفر

مناطق	بیمارستان	فروشگاه	مراکز خرید	تئاتر	سینما	دانشگاه	موزه	هتل	مجموع نقاط تقاضا
۱	**۱٤**	**۹**	**۳۷**	**۱**	**۲**	**۵۱**	**٦**	**۲**	**۱۲۲**
۲	۹	۳	۵۷	۰	۱	۳۸	۰	۵	**۱۱۳**
۳	۱٤	٤	۵۳	۰	۱	۵۰	٤	۵	**۱۳۱**
٤	۱۰	۸	۲۲	۰	۰	۳٤	۱	۱	**۷٦**
۵	٦	۱	٤۲	۰	۱	۱۷	۱	۱	**٦۹**
٦	۳	۱۱	۳۷	۰	۱۳	۱۵۲	۵	۳۱	**۲۵۲**
۷	۱۰	۵	۱٦	۲	٦	٤۱	۳	۳	**۸٦**
۸	۲	۱	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	**۱٤**
۹	۳	۰	۱۰	۰	۰	٦	۰	۰	**۱۹**
۱۰	٦	۲	۱۲	۰	۳	۵	۱	۰	**۲۹**
۱۱	۱۳	۵	۸۸	۱	۱۰	۲۹	۱	٤	**۱۵۱**
۱۲	۱۷	۷	۱۳۳	۱	۹	۲۵	۱۳	۱۲	**۲۱۷**
۱۳	۲	۲	٦	۰	۳	۳	۲	۰	**۱۸**
۱٤	۲	٤	۱۰	۰	۳	۵	۰	۰	**۲٤**
۱۵	۲	۱	٤۰	۱	۰	۱	۰	۰	**٤۵**
۱٦	٦	۱	۱۱	۰	۲	۳	۱	۰	**۲٤**
۱۷	۱	۲	۷۸	۱	۱	۲	۰	۰	**۸۵**
۱۸	۳	۰	۲۷	۱	۰	۷	۰	۰	**۳۸**
۱۹	۰	۱	۷	۰	۰	۱	۰	۰	**۹**
۲۰	۲	۳	۱۹	۰	۰	۷	۰	۰	**۳۱**
۲۱	۰	۳	۱۱	۰	۰	٤	۱	۰	**۱۹**
۲۲	۱	۱	۳	۰	۱	۵	۰	۱	**۱۲**



شکل ۱. نقاط تقاضای سفر در شهر تهران



شکل ۲. وضعیت خطوط تاکسی های شهر تهران

مفروضات مدل شامل :

مجموعه $K = \{1, \ldots . m\}$ تعداد کل تاکسی‌های موجود

مجموعه $L = \{1, \ldots . n\}$ مجموعه سفارشات تاکسی (مسافران)

مجموعه $S = \{1, \ldots . j\}$ مجموعه ایستگاه های تاکسی شهر تهران

$O(s_j)$: تعداد تاکسی های هوشمند موجود در ایستگاه

$N s_j$: مینیمم تعداد تاکسی هوشمند در نظر گرفته شده در هر ایستگاه

E_i^{call} : رخداد i به معنی تماس مسافر i ام برای سفارش تاکسی

$P_{i,s}$: موقعیت مسافر i که در نزدیکترین ایستگاه s می‌باشد

$E_{i,k}^{drop}$: رخداد پیاده کردن مسافر i ام ازتاکسی k در مقصد مورد نظر

$$k^* = \arg\min d_{k,i}\ (D^{curr}) \quad , k \in K \qquad (۱)$$

$$i^* = \arg\min t_{k,L(i)}\ (T^{curr}) \quad , i \in L \qquad (۲)$$

$$s^* = \arg\min d_{k,s_j}\ (D^{curr}) \quad , j \in S \qquad (۳)$$

If $O(s_j) >= N$

$j = j+1$

if $j > |S|$

$O(s^*) = O(s^*) + 1$

Else if

$O(s_j) = O(s_j) + 1$

در این مدل، نقطه آغاز به کار برای تاکسی‌های هوشمند، ایستگاه‌های مربوطه می‌باشد و تاکسی‌ها به صورت پراکنده آغاز به کار نخواهند نمود. بنابراین در رابطه (۱) نزدیکترین تاکسی k^* از مبدا (origin) برای اعزام به اولین مسافر که ثبت درخواست نموده مشخص می‌گردد. نزدیک‌ترین تاکسی با توجه به مفهوم D^{curr} یعنی فاصله از موقعیت فعلی تاکسی بیکار تا $P_{i,s}$ تعیین می‌گردد. L مجموعه تقاضاهای سفر و منظور از $t_{k,L(i)}$ مدت زمان رسیدن تاکسی k ام به مسافر i از مجموعه مسافرانی که ثبت در خواست نموده‌اند می‌باشد. به عبارت دیگر در رابطه (۲) هنگامی که در شعاع تعیین شده برای پوشش شبکه هیچ تاکسی بیکاری یافت نشود، در این حالت انتخاب مسافر بعدی جهت ارسال اطلاعات درخواست و سرویس دهی، از رابطه (۲) تعیین می‌گردد. بدین معنی مسافری به نام i^* برای خدمت‌دهی انتخاب می‌گردد که در کمترین زمان به تاکسی هوشمند در حال خدمت‌دهی در اطراف موقعیت فعلی خود قابلیت دسترسی داشته باشد که این مسافر با توجه به مفهوم T^{curr} مشخص می‌گردد که به عبارتی انتخاب مسافر برای سرویس‌دهی با در نظر گرفتن ترافیک مسیر و با توجه به زمان لازم برای رسیدن به مسافر انتخاب خواهد شد. اگر در زمان رخداد $E_{i,k}^{drop}$ هیچ سفارشی از جانب مسافران ثبت نشده باشد، طبق رابطه (۳) تاکسی با رعایت حداقل تعداد تاکسی‌های مورد نیاز در هر ایستگاه، به نزدیک‌ترین ایستگاه تاکسی هوشمند تخصیص خواهد یافت. ۳ محدودیت اصلی فوق به صورت خلاصه در زیر بیان شده است :

- در هنگام رخداد $E_{i,k}^{call}$ در صورتی که تاکسی بیکار در ایستگاه s موجود باشد، تاکسی k^* به مسافر i ارسال می‌گردد. این محدودیت استراتژی اولین ورود، اولین خروج را دنبال می‌کند. بنابراین در محدودیت اول هدف یافتن k^* یا نزدیک ترین تاکسی (بیکار) به مسافر می‌باشد. به عبارت دیگر در زمانی که تاکسی بیکار در منطقه موجود است، بهترین سرویس با توجه به فاصله تاکسی بیکار تا مسافر انتخاب خواهد شد و تاکسی بیکار به مسافر اعزام می‌شود. در این حالت که ساده‌ترین حالت موجود در زنجیره سفر می‌باشد، تنها فاکتور موجود برای بررسی و ارسال تاکسی به مسافر، مسیر انتخابی می‌باشد که با توجه به روش‌های مختلفی که در مرور ادبیات موضوع به تفضیل شرح داده شد، می‌توان بر اساس اطلاعات ترافیکی مسیر و یا کوتاه‌ترین فاصله یا روش‌های مختلف موجود تاکسی را در کوتاه‌ترین زمان ممکن به مسافر ارسال نمود.

❖در هنگام رخداد $E_{i,k}^{drop}$ توسط تاکسی k، تاکسی k به مسافر i^* ارسال می‌شود. به عبارتی در این محدیت به دنبال یافتن i^* خواهیم بود، بدین معنی که با صرف نظر از استراتژی محدودیت اول، از لیست مسافرانی که ثبت در خواست نموده‌اند، به دنبال سرویس‌دهی به مسافری خواهیم بود که در محدوده دسترسی تاکسی (در حال خدمت) قرار دارد. به عبارت دیگر زمانی که $E_{i,k}^{drop}$ اتفاق می‌افتد، مسافر بعدی برای تاکسی k از لیست مسافران انتخاب می‌گردد و معیار انتخاب مسافر T^{curr} یا کوتاه‌ترین افق زمانی رسیدن تاکسی به مسافر می‌باشد.

❖در صورتی که پس از $E_{i,k}^{drop}$ مسافر بعدی ثبت درخواست ننموده باشد، تاکسی با رعایت حداقل تاکسی هوشمند در هر ایستگاه، در نزدیک ترین ایستگاه (یعنی ایستگاه s^*) استقرار می‌یابد. به عبارتی با توجه به حلقه شرطی تعریف شده در محدودیت شماره (۳) که حداقل تاکسی‌های هوشمند مورد نیاز بر اساس میزان تقاضای هر منطقه را در نظر می‌گیرد، مدل پیشنهادی ایستگاه مورد نظر جهت استقرار تاکسی را با s^* مشخص می‌نماید. این محدودیت علاوه بر اینکه مانع از خالی شدن ایستگاه از حداقل تعداد تاکسی هوشمند می‌گردد، همچنین موجب گشت زنی تاکسی ها در اطراف نقاط تقاضا تا رسیدن به ایستگاه s^* خواهد شد.

بدین ترتیب مدل با استفاده از استراتژی اولین ورود، اولین خروج و کم ترین فاصله بین ایستگاه تاکسی تا مسافر برای انتخاب تاکسی بیکار جهت ارسال به مسافر در محدودیت شماره (۱) آغاز به کار خواهد نمود، سپس با استفاده از استراتژی کوتاه‌ترین زمان برای انتخاب بهترین (نزدیک ترین) مسافر جهت خدمت دهی، پس از اتمام سفر قبلی توسط تاکسی مورد نظر در محدودیت شماره (۲) نزدیک‌ترین مسافر انتخاب خواهد شد و با رعایت حداقل تعداد تاکسی‌های مورد ترافیک در هر منطقه خاص در محدودیت شماره(۳) از بیشترین ظرفیت تاکسی‌های شهر تهران برای جابه‌جایی مسافر استفاده خواهد شد. مشهود است که مدل ارائه شده در این بخش در صورتی که با کمترین شعاع دسترسی، حداکثر نقاط تقاضا را با گردش تاکسی‌های هوشمند پوشش دهد، بیشترین کارایی را به همراه خواهد داشت. همچنین لازم است برای کاربردی بودن مدل در شرایط فعلی، نقاط پیشنهادی بر ایستگاه‌های موجود منطبق و یا نزدیک باشند و برای استقرار مجدد در سایر ایستگاه‌ها طبق رابطه (۳) از پوشش شبکه خوبی برخوردار باشند تا در گردش تاکسی‌ها بین نقاط تقاضا و استقرار مجدد در نزدیکترین ایستگاه، خللی ایجاد نشود. لذا هدف، انتخاب بهترین نقاط با در نظر گرفتن شرایط فوق برای استقرار ایستگاه تاکسی‌های هوشمند در شهر تهران می باشد که در ادامه به تفضیل بررسی می گردد.

تعیین نقاط ایستگاه شبکه پیشنهادی با الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی

در این مرحله جهت بررسی مدل پیشنهادی از نظر میزان پوشش نقاط مختلف تقاضا و همچنین کاربردی بودن مدل مذکور، از الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر چگالی استفاده شده است.

۵-۱- روش خوشه بندی مبتنی بر چگالی

برای شرح روش کار این الگوریتم ابتدا به تعریف نقطه مرکزی و فاصله دسترسی می پردازیم. فاصله مرکزی شئ p در واقع کوچکترین مقدار فاصله ε بین p و یک در داخل شعاع همسایگی تعریف شده آن است، به طوری که p با این مقدار ε یک شئ مرکزی شود. این فاصله حتماً بزرگتر یا مساوی فاصله این دو نقطه است و بزرگی آن به میزانی است که حداقل تعداد نقاط مورد نظر ما را برای ایجاد یک نقطه مرکزی شامل شود. متغیر دیگری که تعریف می‌شود فاصله دسترسی است، فاصله دسترسی p با توجه به شئ o کمترین فاصله‌ای است که p از o مستقیماً قابل دسترس چگال باشد. قابل دسترس چگال یعنی در اولین شعاع همسایگی از p قرار داشته باشد. الگوریتم پس از تعریف پارامترهای نام برده اقدام به شمارش نقاط در فضا می‌نماید، بنابراین اگر نقطه‌ای با تعریف شعاع دسترسی و کمترین نقاط برای ایجاد خوشه قابلیت نقطه‌ی مرکزی را داشته باشد، یک خوشه تشکیل خواهد داد (Birant and Kut, 2007). از مزیت این روش خوشه‌بندی می‌توان به تولید خوشه‌هایی با

احجام و شکل‌های مختلف اشاره نمود. بنابراین الگوریتم مذکور برای خوشه‌بندی به دو پارامتر حداقل نقاط برای تشکیل یک خوشه و پارامتر فاصله دسترسی یا به عبارتی شعاع همسایگی نیاز دارد که مقادیر این دو و تَثیر این دو پارامتر بر یکدیگر به میزان قابل توجهی بر عملکرد الگوریتم برای تعداد خوشه‌های تشکیل شده تأثیرگذار است. لذا برای عملکرد بهتر الگوریتم ابتدا به تنظیم مقادیر پارامترهای آن می‌پردازیم. لازم به ذکر است، با توجه به تعریف نقطه مرکزی، هدف از اجرای الگوریتم مذکور این است که بهترینِ این نقاط به عنوان محل ایستگاه تاکسی هوشمند انتخاب گردد.

۵-۲- تنظیم پارامترهای الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر چگالی با طراحی آزمایشات

در این بخش با استفاده از روش طراحی آزمایشات و طرح‌های فاکتور کامل، مقادیر بهینه برای به دست آوردن ماکزیمم تعداد خوشه‌ها و کمترین تعداد نقاط پرت تعیین گردیده است. تنظیم پارامترها از طریق روش طراحی آزمایشات بدین شکل است که مقادیر در نظر گرفته شده برای اجرای آزمایشات طبق جدول ۲، سه مقدار مختلف برای حداقل نقاط و چهار مقدار برای فاصله دسترسی نقاط است. این مقادیر از روش سعی و خطا انتخاب شده و نتایج حاصل از الگوریتم خوشه‌بندی به صورت آزمایشی بر اساس این مقادیر استخراج می‌گردد. سپس مقادیر خروجی بدست آمده در نرم افزار Minitab وارد می‌گردد تا تاثیر این مقادیر بر یکدیگر بررسی شود.

جدول ۲. مقادیر آزمایشی پارامترهای الگوریتم DBSCAN

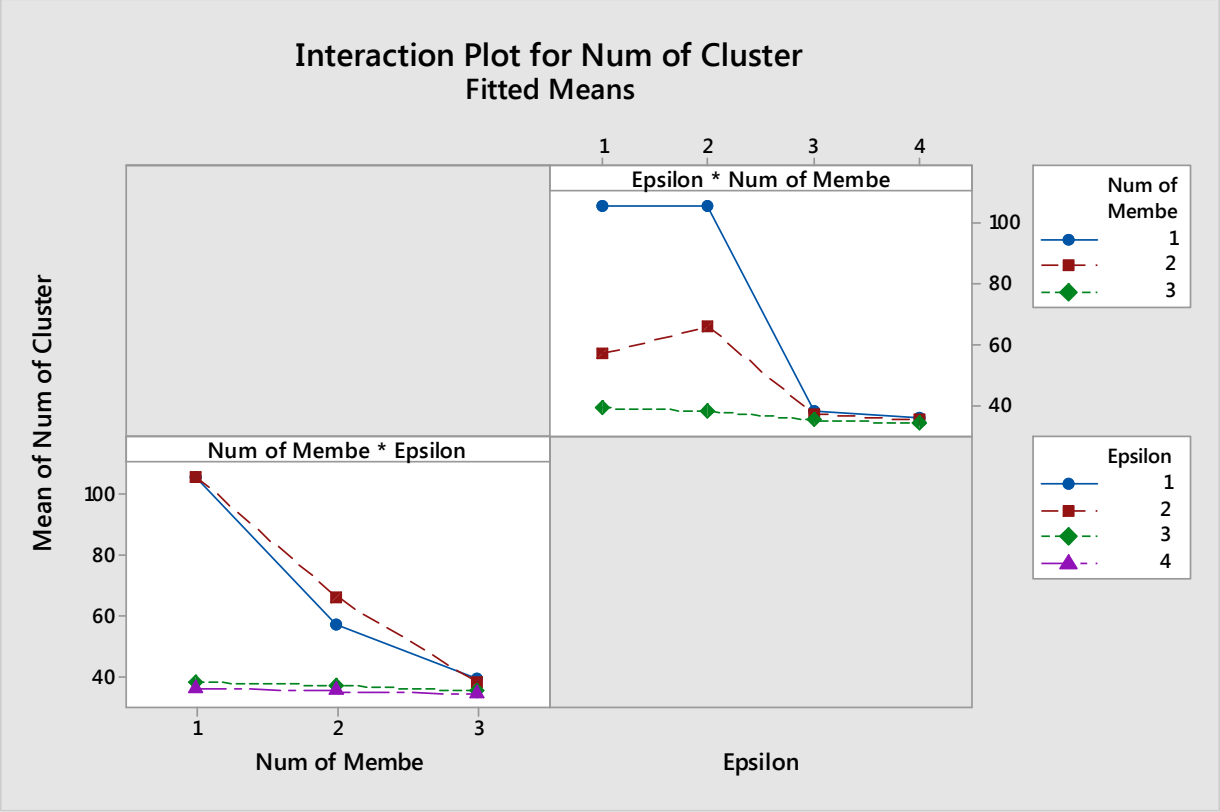
۰/۰۰۲۵	Epsilon	۳	Minimum Point
۰/۰۰۵		۵	
۰/۰۲۵		۸	
۰/۰۵			

نتایج حاصل از تنظیم پارامترهای فوق در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که بهترین مقدار برای حداقل نقاط، مقدار ۳ و برای فاصله دسترسی، مقادیر ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۵ است. یعنی فاصله دسترسی در دو سطح اول در مجموعِ تعداد خوشه‌های بدست آمده تفاوتی ایجاد نمی‌کند. بنابراین به منظور دسترسی راحت‌تر به نقاط تقاضا، مقدار فاصله دسترسی کمتر یعنی ۰/۰۰۲۵ انتخاب می‌گردد. ورودی الگوریتم موردنظر، دو پارامتر بهینه بدست آمده و نقاط تولید سفر در شهر تهران می‌باشد و طبیعتاً خروجی آن، خوشه‌های تشکیل شده است. در نهایت الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی با مقادیر نهایی پارامترها شامل حداقل نقاط ۳ و شعاع دسترسی ۰/۰۰۲۵ در نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی و برای هر منطقه با توجه به نقاط تقاضای مربوط به آن اجرا گردیده است. در مجموع با حذف نقاط هم‌پوشان بین مناطق، تعداد ۹۶ ایستگاه برای بیشترین پوشش نقاط تقاضا در وضعیت فعلی بدست آمده است. با توجه به ازدحام نقاط تقاضا در هر منطقه، تعداد ایستگاه‌های انتخابی متفاوت و بسته به نظر نویسندگان بوده است.

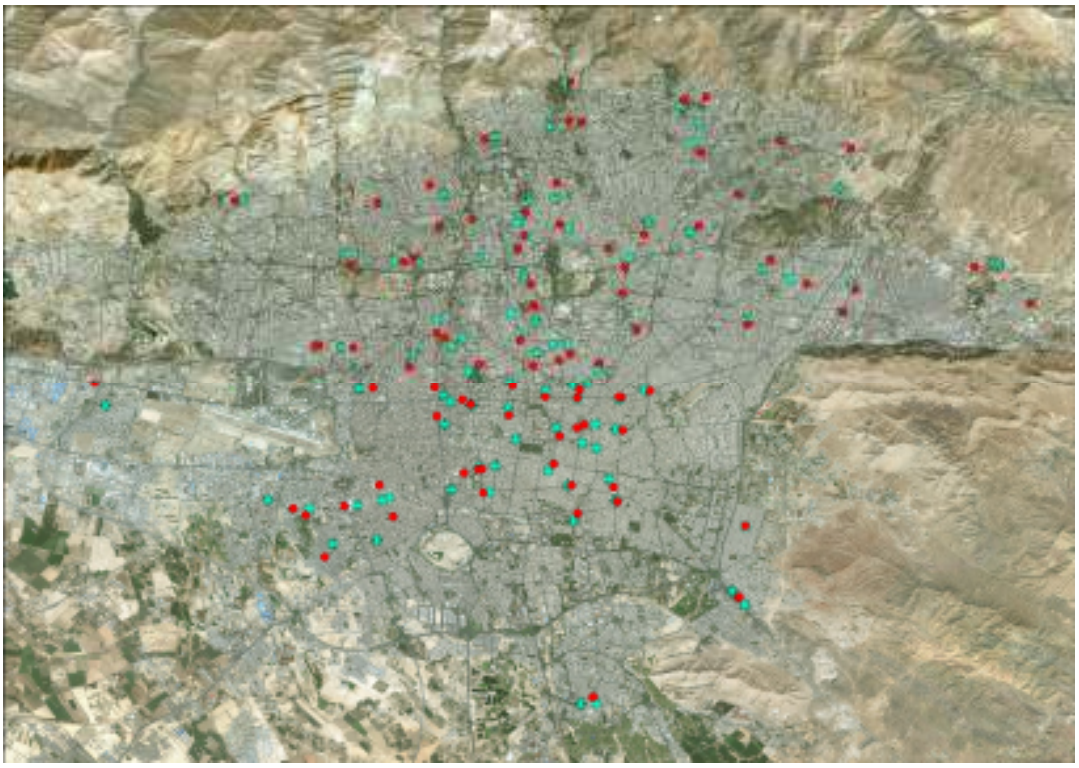
۵-۳- بررسی کاربردی بودن مدل شبکه ی پیشنهادی با سطح دسترسی تعیین شده در شهر تهران

پس از تعیین حدود مختصات ایستگاه تاکسی های هوشمند، فاصله این ۹۶ ایستگاه نسبت به تمامی ایستگاه های فعلی محاسبه شده و با یافتن نزدیک ترین ایستگاه موجود، در جدول شماره ۳ مختصات نزدیک ترین ایستگاه و فاصله آن با ایستگاه تاکسی هوشمند نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول شماره ۳ تعداد ۳۸ ایستگاه که به عنوان ایستگاه تاکسی هوشمند انتخاب شده اند، بر ایستگاه‌های موجود فعلی منطبق می‌باشند همچنین ۱۳ ایستگاه با تقریب اندکی نزدیک به ایستگاه‌های فعلی می‌باشند. همان گونه که نتایج فوق در شکل ۳ نیز قابل مشاهده است، ۵۳/۱۲ درصد از نقاط معرفی شده به عنوان بهترین نقاط برای ایستگاه‌های تاکسی هوشمند، با ایستگاه‌های تاکسی فعلی و در وضعیت موجود منطبق است. در شکل شماره ٤، ایستگاه‌های تاکسی فعلی با رنگ قرمز و نقاط پیشنهادی برای ایستگاه تاکسی هوشمند با رنگ سبز مشخص گردیده است. در ادامه این بخش برای بررسی سطح پوشش نقاط بدست آمده با توجه به فاصله دسترسی در نظر گرفته شده از نرم افزار GIS استفاده نموده‌ایم. ابتدا نقاط پیشنهادی در نرم افزار وارد شده و سپس فاصله

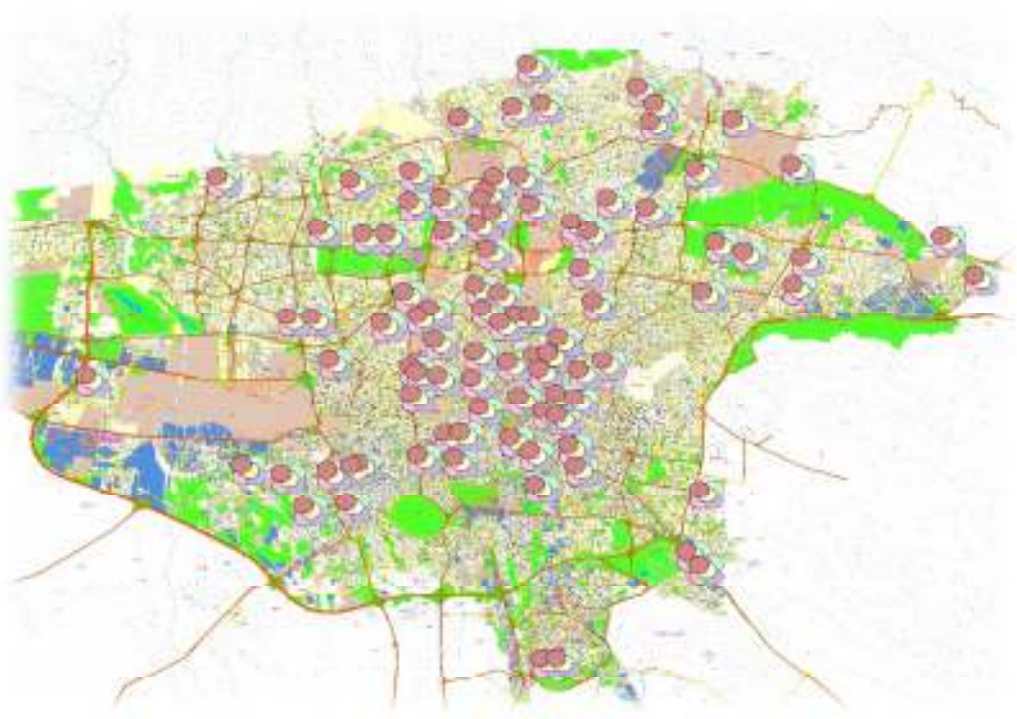
دسترسی ۰/۰۰۲۵ که در مختصات متریک نرم افزار معادل با ۳۵۷/۹۷ متر می باشد، بافرهای نقاط پیشنهادی برای فاصله دسترسی اولیه و همچنین چهار نقطه اطراف آن که به عبارتی کوتاه‌ترین فاصله برای گردش تاکسی‌های هوشمند می‌باشد، رسم گردیده است. همانطور که در شکل شماره ۵ قابل مشاهده است، از هر ایستگاه تاکسی هوشمند به فاصله تقریبی ۱/۵ کیلومتر در مناطق ۳، ٦، ۷، ۱۱ و ۱۲ که از شمال شهر به سمت مرکز از پر ترددترین مناطق شناسایی شده‌اند، با ایستگاه های هوشمند مجاور در اولین شعاع پوشش خود، هم پوشانی دارد. ذکر این نکته قابل توجه است که با استناد به اطلاعات موجود از متوسط سرعت حرکت در مناطق مختلف، در سه حالت تردد عادی، تردد آزاد و تردد در ساعات اوج ترافیک صبح، کمترین متوسط سرعت در کل روز ابتدا مربوط به منطقه ۱۱ با متوسط سرعت ۲۳/۸ (کیلومتر بر ساعت) و سپس منطقه ۱۲ با متوسط سرعت ۲٦/٦٦ (کیلومتر بر ساعت) می‌باشد. لذا با فاصله دسترسی ۳۵۸ متر از نقاط تقاضای سفر در این مناطق، زمان رسیدن تاکسی به مسافر در بدترین حالت کمتر از ۲ دقیقه خواهد بود.



شکل ۳. تاثیر سطوح مختلف پارامترها



شکل ٤. مقایسه ایستگاه های تاکسی فعلی و هوشمند در شهر تهران



شکل ۵. سطح پوشش نقاط پیشنهادی برای ایستگاه تاکسی هوشمند

جدول ۳ . مختصات نزدیک ترین ایستگاه تاکسی موجود نسبت به ایستگاه های هوشمند

ردیف	مختصات ایستگاه هوشمند		مختصات نزدیک‌ترین ایستگاه موجود		فاصله با نزدیک ترین ایستگاه موجود
	عرض	طول	عرض	طول	
۱	۳۵/۸۰۳۹۰۲	۵۱/۴۲۰۹۴۲	۳۵/۸۰۵۸۳۷	۵۱/۴۲۷۸۶۰	۰/۰۰۷۱۸۳
۲	۳۵/۸۲۰۲۶۴	۵۱/۴۲۶۶۸۶	۳۵/۸۲۰۳۲۵	۵۱/۴۲۸۵۳۲	۰/۰۰۱۸۴۷
۳	۳۵/۸۰۵۲۹۵	۵۱/۴۳۲۰۸۲	۳۵/۸۰۵۲۹۴	۵۱/۴۳۲۴۷۵	۰/۰۰۰۳۹۳
۴	۳۵/۸۱۱۳۸۷	۵۱/۴۶۹۵۰۶	۳۵/۸۱۳۵۷۴	۵۱/۴۷۰۷۷۶	۰/۰۰۲۵۲۹
۵	۳۵/۸۰۵۲۹۵	۵۱/۴۷۶۱۲۰	۳۵/۸۱۴۵۶۶	۵۱/۴۷۸۹۵۱	۰/۰۰۹۶۹۴
۶	۳۵/۷۹۷۹۸۴	۵۱/۴۷۴۵۵۴	۳۵/۷۹۴۲۰۵	۵۱/۴۷۷۱۵۱	۰/۰۰۴۵۸۶
۷	۳۵/۷۹۹۲۰۳	۵۱/۵۰۶۷۵۶	۳۵/۷۹۸۱۸۰	۵۱/۵۰۷۰۰۳	۰/۰۰۱۰۵۲
۸	۳۵/۷۸۰۹۲۶	۵۱/۵۲۹۳۸۴	۳۵/۷۹۵۴۳۶	۵۱/۵۳۳۲۴۴	۰/۰۱۵۰۱۵
۹	۳۵/۷۷۸۵۶۴	۵۱/۳۸۱۰۸۶	۳۵/۷۸۱۹۶۸	۵۱/۳۷۵۸۵۹	۰/۰۰۶۲۳۸
۱۰	۳۵/۷۷۵۱۹۲	۵۱/۳۵۷۸۰۴	۳۵/۷۷۵۲۴۳	۵۱/۳۵۶۳۴۵	۰/۰۰۱۴۶۰
۱۱	۳۵/۷۶۷۰۰۳	۵۱/۳۸۰۴۴۴	۳۵/۷۶۶۷۳۳	۵۱/۳۷۹۶۱۳	۰/۰۰۰۸۷۴
۱۲	۳۵/۷۵۳۸۳۷	۵۱/۳۷۱۴۵۲	۳۵/۷۵۴۹۰۴	۵۱/۳۷۰۱۴۰	۰/۰۰۱۶۹۱
۱۳	۳۵/۷۵۳۸۳۷	۵۱/۳۶۲۶۲۱	۳۵/۷۵۳۴۳۰	۵۱/۳۶۵۹۹۷	۰/۰۰۳۴۰۰
۱۴	۳۵/۷۵۶۲۴۵	۵۱/۳۴۵۱۱۹	۳۵/۷۵۲۳۴۴	۵۱/۳۴۵۹۸۰	۰/۰۰۳۹۹۵
۱۵	۳۵/۷۳۱۸۳۹	۵۱/۳۷۸۶۷۸	۳۵/۷۲۶۷۸۹	۵۱/۳۷۸۴۵۸	۰/۰۰۵۰۵۵
۱۶	۳۵/۷۱۹۴۷۶	۵۱/۳۶۹۸۴۷	۳۵/۷۱۴۱۷۶	۵۱/۳۶۸۱۴۰	۰/۰۰۵۵۶۸
۱۷	۳۵/۷۲۱۷۲۳	۵۱/۳۴۲۵۵۰	۳۵/۷۲۱۴۳۶	۵۱/۳۴۷۱۹۳	۰/۰۰۴۶۵۲
۱۸	۳۵/۷۰۵۳۴۶	۵۱/۳۴۹۴۵۵	۳۵/۷۰۵۶۱۶	۵۱/۳۵۴۵۵۳	۰/۰۰۵۱۰۶
۱۹	۳۵/۷۷۶۲۳۸	۵۱/۴۱۳۷۰۷	۳۵/۷۷۱۶۷۹	۵۱/۴۱۱۶۶۱	۰/۰۰۴۹۹۷
۲۰	۳۵/۷۷۶۸۰۸	۵۱/۴۲۳۲۰۹	۳۵/۷۸۲۷۱۴	۵۱/۴۲۳۳۲۲	۰/۰۰۵۹۰۷
۲۱	۳۵/۷۷۰۹۱۶	۵۱/۴۱۰۱۹۱	۳۵/۷۷۱۶۷۹	۵۱/۴۱۱۶۶۱	۰/۰۰۱۶۵۶
۲۲	۳۵/۷۶۷۸۷۶	۵۱/۴۰۸۳۸۵	۳۵/۷۷۱۶۷۹	۵۱/۴۱۱۶۶۱	۰/۰۰۵۰۲۰
۲۳	۳۵/۷۶۸۳۵۱	۵۱/۳۹۲۹۹۱	۳۵/۷۶۹۲۳۷	۵۱/۳۹۱۸۱۷	۰/۰۰۱۴۷۱
۲۴	۳۵/۷۶۵۶۹۰	۵۱/۴۲۷۶۷۵	۳۵/۷۶۷۲۲۳	۵۱/۴۲۴۵۸۴	۰/۰۰۳۴۵۰
۲۵	۳۵/۷۶۸۱۶۱	۵۱/۴۵۷۷۰۲	۳۵/۷۶۳۵۸۳	۵۱/۴۵۵۹۰۴	۰/۰۰۴۹۱۸
۲۶	۳۵/۷۶۲۷۴۴	۵۱/۴۱۲۸۵۱	۳۵/۷۶۳۰۵۰	۵۱/۴۱۱۲۹۲	۰/۰۰۱۵۸۹
۲۷	۳۵/۷۵۸۱۸۳	۵۱/۴۰۶۷۷۰	۳۵/۷۵۸۵۳۵	۵۱/۴۰۸۴۱۴	۰/۰۰۱۶۸۱
۲۸	۳۵/۷۵۴۹۵۳	۵۱/۳۹۴۲۲۷	۳۵/۷۵۷۷۷۰	۵۱/۴۰۸۴۳۲	۰/۰۱۴۴۸۲
۲۹	۳۵/۷۵۸۷۵۳	۵۱/۴۴۳۷۳۴	۳۵/۷۵۸۳۰۴	۵۱/۴۴۲۶۲۴	۰/۰۰۱۱۹۷
۳۰	۳۵/۷۵۴۹۵۳	۵۱/۴۵۰۴۸۱	۳۵/۷۵۱۳۷۲	۵۱/۴۴۸۷۹۶	۰/۰۰۳۹۵۷

ردیف	مختصات ایستگاه هوشمند		مختصات نزدیک ترین ایستگاه موجود		فاصله با نزدیک ترین ایستگاه موجود
	عرض	طول	عرض	طول	
۳۱	۳۵/۷۷۹۷۹۱	۵۱/۴۹۱۶۳۱	۳۵/۷۷۸۵۹۰	۵۱/۴۹۱۱۴۸	۰/۰۰۱۲۹۴
۳۲	۳۵/۷۶۴۴۸۲	۵۱/۴۷۳۲۰۸	۳۵/۷۶۶۷۵۸	۵۱/۴۷۶۳۱۹	۰/۰۰۳۸۵۴
۳۳	۳۵/۷۵۰۷۳۰	۵۱/۴۹۹۹۳۴	۳۵/۷۵۳۹۰۳	۵۱/۵۰۳۰۳۲	۰/۰۰۴۴۳۵
۳۴	۳۵/۷۴۷۰۹۸	۵۱/۵۱۰۸۳۱	۳۵/۷۴۵۲۴۳	۵۱/۵۱۶۶۱۸	۰/۰۰۶۰۷۶
۳۵	۳۵/۷۴۵۰۲۲	۵۱/۵۳۳۴۰۵	۳۵/۷۴۳۰۲۱	۵۱/۵۳۴۸۰۴	۰/۰۰۲۴۴۱
۳۶	۳۵/۷۳۴۳۸۴	۵۱/۵۳۰۰۳۲	۳۵/۷۳۴۸۵۰	۵۱/۵۳۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴۶۷
۳۷	۳۵/۷۵۲۸۰۶	۵۱/۵۸۸۱۵۴	۳۵/۷۵۱۵۲۷	۵۱/۵۷۹۱۹۲	۰/۰۰۹۰۵۲
۳۸	۳۵/۷۳۸۰۱۶	۵۱/۶۰۰۸۶۸	۳۵/۷۳۷۹۳۹	۵۱/۶۰۰۱۹۵	۰/۰۰۰۶۷۷
۳۹	۳۵/۷۵۲۸۰۶	۵۱/۵۸۸۱۵۴	۳۵/۷۵۱۵۲۷	۵۱/۵۷۹۱۹۲	۰/۰۰۹۰۵۲
۴۰	۳۵/۷۴۷۹۹۴	۵۱/۴۱۱۱۶۹	۳۵/۷۴۴۹۶۸	۵۱/۴۱۳۵۵۸	۰/۰۰۳۸۵۵
۴۱	۳۵/۷۳۴۳۳۴	۵۱/۴۰۶۳۷۶	۳۵/۷۳۷۳۲۴	۵۱/۴۱۴۲۹۷	۰/۰۰۸۴۶۶
۴۲	۳۵/۷۳۱۲۹۹	۵۱/۴۱۵۴۰۲	۳۵/۷۳۶۵۳۰	۵۱/۴۱۵۰۸۸	۰/۰۰۵۲۴۰
۴۳	۳۵/۷۲۵۲۲۸	۵۱/۴۰۹۰۱۲	۳۵/۷۲۴۱۶۶	۵۱/۴۰۹۴۸۱	۰/۰۰۱۱۶۱
۴۴	۳۵/۷۲۲۶۷۲	۵۱/۴۲۲۰۳۲	۳۵/۷۱۶۶۱۷	۵۱/۴۲۳۹۸۸	۰/۰۰۶۳۶۳
۴۵	۳۵/۷۱۹۷۱۷	۵۱/۴۱۵۹۶۱	۳۵/۷۱۴۷۲۶	۵۱/۴۱۴۳۵۲	۰/۰۰۵۲۴۴
۴۶	۳۵/۷۰۴۴۶۰	۵۱/۴۱۹۰۷۷	۳۵/۷۰۲۱۵۱	۵۱/۴۱۸۹۷۱	۰/۰۰۲۳۱۱
۴۷	۳۵/۷۲۴۹۸۹	۵۱/۳۸۸۳۲۳	۳۵/۷۲۴۹۷۸	۵۱/۳۸۱۳۲۱	۰/۰۰۷۰۰۲
۴۸	۳۵/۷۲۲۴۳۳	۵۱/۳۸۳۷۷۰	۳۵/۷۲۴۹۷۸	۵۱/۳۸۱۳۲۱	۰/۰۰۳۵۳۲
۴۹	۳۵/۷۰۲۶۲۳	۵۱/۳۸۱۰۵۵	۳۵/۷۰۵۸۴۲	۵۱/۳۷۷۵۹۵	۰/۰۰۴۷۲۶
۵۰	۳۵/۷۱۲۸۴۷	۵۱/۳۹۰۴۰۰	۳۵/۷۱۵۱۹۵	۵۱/۳۹۴۴۱۷	۰/۰۰۴۶۵۳
۵۱	۳۵/۷۰۸۲۹۴	۵۱/۴۰۶۱۳۶	۳۵/۷۰۶۵۲۳	۵۱/۴۰۶۷۵۸	۰/۰۰۱۸۷۷
۵۲	۳۵/۷۴۰۸۶۵	۵۱/۴۴۷۲۳۰	۳۵/۷۴۱۶۵۱	۵۱/۴۴۷۷۰۴	۰/۰۰۰۹۱۸
۵۳	۳۵/۷۲۸۱۶۶	۵۱/۴۵۲۲۶۰	۳۵/۷۲۸۱۳۱	۵۱/۴۵۳۲۵۱	۰/۰۰۰۹۹۲
۵۴	۳۵/۷۲۲۵۷۱	۵۱/۴۲۷۶۷۹	۳۵/۷۱۹۱۲۳	۵۱/۴۲۸۲۹۸	۰/۰۰۳۵۰۳
۵۵	۳۵/۷۱۳۵۸۱	۵۱/۴۳۸۶۸۱	۳۵/۷۱۵۷۸۰	۵۱/۴۳۹۰۷۴	۰/۰۰۲۲۳۴
۵۶	۳۵/۷۰۶۸۵۴	۵۱/۴۲۹۱۸۸	۳۵/۷۰۴۸۰۵	۵۱/۴۳۱۷۸۲	۰/۰۰۳۳۰۶
۵۷	۳۵/۷۰۷۷۳۵	۵۱/۴۳۴۷۲۰	۳۵/۷۰۴۸۰۵	۵۱/۴۳۱۷۸۲	۰/۰۰۴۱۴۹
۵۸	۳۵/۷۰۴۸۴۳	۵۱/۴۵۶۰۹۴	۳۵/۷۰۴۴۱۱	۵۱/۴۵۸۱۱۳	۰/۰۰۲۰۶۴
۵۹	۳۵/۷۳۲۰۲۹	۵۱/۴۹۴۷۳۰	۳۵/۷۳۰۱۵۱	۵۱/۴۹۴۴۷۸	۰/۰۰۱۸۹۵
۶۰	۳۵/۷۷۶۳۳۹	۵۱/۳۰۵۸۶۷	۳۵/۷۷۵۹۷۴	۵۱/۳۰۲۹۸۷	۰/۰۰۲۹۰۳
۶۱	۳۵/۷۲۱۸۸۹	۵۱/۳۳۳۲۹۲	۳۵/۷۲۲۳۴۵	۵۱/۳۳۳۱۷۳	۰/۰۰۰۴۷۱
۶۲	۳۵/۷۰۰۴۳۴	۵۱/۳۸۳۴۲۵	۳۵/۷۰۱۱۰۱	۵۱/۳۸۷۹۹۸	۰/۰۰۴۶۲۱

ردیف	مختصات ایستگاه هوشمند		مختصات نزدیک ترین ایستگاه موجود		فاصله با نزدیک ترین ایستگاه موجود
	عرض	طول	عرض	طول	
۶۳	۳۵/۶۹۸۹۸۳	۵۱/۳۹۱۵۶۷	۳۵/۶۹۹۲۹۳	۵۱/۳۹۱۱۳۶	۰/۰۰۰۵۳۱
۶۴	۳۵/۶۹۸۰۹۹	۵۱/۴۰۵۰۱۰	۳۵/۶۹۵۳۳۷	۵۱/۴۰۵۳۳۴	۰/۰۰۲۷۸۱
۶۵	۳۵/۶۸۶۵۴۹	۵۱/۴۰۷۹۷۷	۳۵/۶۹۵۳۳۷	۵۱/۴۰۵۳۳۴	۰/۰۰۹۱۷۷
۶۶	۳۵/۶۹۱۸۵۱	۵۱/۳۸۱۴۰۵	۳۵/۶۹۵۰۰۵	۵۱/۳۷۸۴۴۸	۰/۰۰۴۳۲۴
۶۷	۳۵/۶۷۶۱۹۸	۵۱/۳۹۴۴۰۷	۳۵/۶۷۵۲۰۰	۵۱/۳۹۳۹۰۱	۰/۰۰۱۱۱۹
۶۸	۳۵/۶۷۶۶۴۰	۵۱/۴۰۰۴۰۳	۳۵/۶۷۵۲۹۵	۵۱/۳۹۵۲۸۳	۰/۰۰۵۲۹۴
۶۹	۳۵/۶۶۷۸۶۷	۵۱/۳۸۳۹۹۳	۳۵/۶۷۳۸۷۰	۵۱/۳۸۸۶۴۴	۰/۰۰۷۵۹۴
۷۰	۳۵/۶۶۶۹۲۰	۵۱/۳۹۸۱۹۴	۳۵/۶۶۶۵۸۶	۵۱/۳۹۵۷۵۸	۰/۰۰۲۴۵۹
۷۱	۳۵/۷۰۱۵۲۷	۵۱/۴۳۱۱۷۴	۳۵/۷۰۱۶۸۱	۵۱/۴۳۰۹۲۹	۰/۰۰۰۲۹۰
۷۲	۳۵/۷۰۱۳۸۹	۵۱/۴۴۶۶۴۱	۳۵/۷۰۲۱۸۵	۵۱/۴۴۶۳۶۹	۰/۰۰۰۸۴۱
۷۳	۳۵/۶۹۰۷۰۸	۵۱/۴۲۳۱۹۹	۳۵/۶۸۷۵۲۵	۵۱/۴۲۴۳۴۴	۰/۰۰۳۳۸۳
۷۴	۳۵/۶۹۲۰۲۶	۵۱/۴۳۷۷۶۳	۳۵/۶۹۱۸۰۱	۵۱/۴۳۳۴۹۳	۰/۰۰۴۲۷۶
۷۵	۳۵/۶۹۰۱۵۳	۵۱/۴۴۵۱۸۴	۳۵/۶۸۹۶۹۹	۵۱/۴۴۷۹۴۶	۰/۰۰۲۷۹۹
۷۶	۳۵/۶۸۵۰۲۱	۵۱/۴۳۲۸۳۹	۳۵/۶۹۰۶۱۷	۵۱/۴۳۰۷۹۶	۰/۰۰۵۹۵۷
۷۷	۳۵/۶۸۳۱۴۸	۵۱/۴۳۸۱۷۹	۳۵/۶۹۱۸۰۱	۵۱/۴۳۳۴۹۳	۰/۰۰۹۸۴۰
۷۸	۳۵/۶۷۴۸۲۶	۵۱/۴۲۰۰۷۸	۳۵/۶۷۷۲۲۸	۵۱/۴۲۲۱۲۲	۰/۰۰۳۱۵۵
۷۹	۳۵/۶۶۹۲۷۷	۵۱/۴۲۷۵۶۸	۳۵/۶۶۹۲۶۱	۵۱/۴۲۸۷۴۵	۰/۰۰۱۱۷۷
۸۰	۳۵/۶۷۱۷۷۴	۵۱/۴۴۲۷۵۷	۳۵/۶۶۸۵۹۸	۵۱/۴۴۴۵۴۴	۰/۰۰۳۶۴۴
۸۱	۳۵/۶۶۳۷۹۸	۵۱/۴۴۵۳۹۲	۳۵/۶۶۳۲۱۲	۵۱/۴۴۵۸۴۰	۰/۰۰۰۷۳۸
۸۲	۳۵/۶۵۴۱۱۶	۵۱/۴۹۳۸۲۸	۳۵/۶۵۴۲۶۶	۵۱/۴۹۳۶۶۵	۰/۰۰۰۲۲۲
۸۳	۳۵/۶۳۰۲۰۲	۵۱/۴۸۸۷۸۹	۳۵/۶۲۷۶۹۱	۵۱/۴۹۱۱۵۳	۰/۰۰۳۴۴۸
۸۴	۳۵/۶۲۴۹۷۹	۵۱/۴۹۳۶۴۵	۳۵/۶۲۷۹۱۸	۵۱/۴۹۱۵۵۱	۰/۰۰۳۶۰۹
۸۵	۳۵/۶۵۶۲۵۶	۵۱/۴۲۹۶۱۳	۳۵/۶۵۸۹۴۴	۵۱/۴۳۱۰۴۹	۰/۰۰۳۰۴۷
۸۶	۳۵/۶۶۴۸۷۴	۵۱/۳۶۰۶۳۹	۳۵/۶۶۹۴۴۰	۵۱/۳۵۶۹۷۵	۰/۰۰۵۸۵۵
۸۷	۳۵/۶۴۹۰۸۵	۵۱/۳۵۶۲۰۹	۳۵/۶۵۷۶۲۳	۵۱/۳۶۲۱۴۷	۰/۰۱۰۴۰۰
۸۸	۳۵/۶۶۰۵۹۹	۵۱/۳۳۰۹۷۷	۳۵/۶۵۸۲۰۳	۵۱/۳۲۹۴۳۸	۰/۰۰۲۸۴۷
۸۹	۳۵/۶۶۴۰۶۵	۵۱/۳۱۵۴۵۳	۳۵/۶۶۰۷۲۴	۵۱/۳۲۴۷۲۸	۰/۰۰۹۸۵۸
۹۰	۳۵/۶۶۳۹۱۵	۵۱/۳۵۷۹۵۴	۳۵/۶۶۹۴۴۰	۵۱/۳۵۶۹۷۵	۰/۰۰۵۶۱۱
۹۱	۳۵/۶۴۷۶۳۸	۵۱/۳۳۹۵۶۷	۳۵/۶۴۲۷۴۶	۵۱/۳۳۶۵۸۳	۰/۰۰۵۷۳۰
۹۲	۳۵/۶۶۱۹۵۵	۵۱/۳۴۸۷۶۰	۳۵/۶۶۱۶۲۸	۵۱/۳۴۳۸۳۷	۰/۰۰۴۹۳۴
۹۳	۳۵/۵۸۸۳۵۷	۵۱/۴۳۲۲۰۹	۳۵/۵۹۰۶۷۸	۵۱/۴۳۶۵۵۹	۰/۰۰۴۹۳۱
۹۴	۳۵/۵۸۸۵۷۰	۵۱/۴۳۷۹۶۲	۳۵/۵۹۰۸۲۱	۵۱/۴۳۶۹۳۸	۰/۰۰۲۴۷۲

ردیف	مختصات ایستگاه هوشمند		مختصات نزدیک ترین ایستگاه موجود		فاصله با نزدیک ترین ایستگاه موجود
	عرض	طول	عرض	طول	
۹۵	۳۵/٦۹۸۹۹٤	۵۱/۲۵٤۷۰٤	۳۵/۷۰۷٤۸۳	۵۱/۲۵۰٦٤۰	۰/۰۰۹٤۱۲
۹٦	۳۵/۸۰۰۵۰۲	۵۱/٤۰۱۱٦۱	۳۵/۷۹۹۰۹۱	۵۱/۳۹٦٤۵۷	۰/۰۰٤۹۱۱

۵-نتیجه‌گیری

همان طور که در مرور ادبیات موضوع گفته شد، در مطالعه صورت گرفته، انواع سیستم‌های حمل و نقل هوشمند در کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات نشان داد با توجه به ضرورت و نوع نیاز هر کشور، انواع مختلفی از سیستم‌های سفارش تاکسی و همچنین مسیریابی تاکسی‌ها به کمک GPS های تعبیه شده در داخل وسایل نقلیه برای یافتن کم ترافیک‌ترین مسیرهای پیش روی تاکسی وجود دارد. لذا از میان آن‌ها مشابه‌ترین مدل با وضعیت فعلی در کشور ایران و بخصوص کلان شهر تهران انتخاب گردید و با تغییرات اعمال شده در مدل ریاضی مربوطه، آن را به بهترین صورت ممکن برای اجرا و پیاده سازی در کلان شهر تهران ارائه نموده‌ایم. مدل ریاضی مذکور الهام گرفته از مدل زنجیره سفر و ایجاد تعادل بین تامین و تقاضا می‌باشد. به عبارت دیگر با توجه به وضعیت فعلی ایستگاه‌های تاکسی در میادین شهر تهران و عدم نیاز به تغییرات عمده و هزینه بر در شبکه تاکسیرانی که ممکن است برای شهروندان نیز غیرملموس بوده و عدم استقبال از سیستم شبکه توزیع جدید تاکسی را به همراه داشته باشد، سعی شده تا سیستم سفارش تاکسی هوشمند منطبق با وضعیت موجود طراحی گردد. از طرفی راه‌اندازی چنین سیستمی منطبق با نیازها و تکنولوژی‌های روز دنیا از سوی تاکسیرانی تهران می‌تواند امنیت خاطر بیشتری برای مسافران نسبت به استفاده از خودروهای شخصی که اقدام به جذب مسافر می‌نمایند را به همراه داشته باشد. در مدل ارائه شده جایگاه استقرار تاکسی‌های بیکار همان ایستگاه‌های فعلی در میادین و سایر پایانه‌های تاکسی می‌باشد و در هنگام خدمت‌دهی نیز بیشترین ظرفیت تاکسی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که همچنین صرفه‌جویی در زمان و عدم اتلاف وقت مسافران را نیز به همراه دارد. بدین ترتیب که با در نظر گرفتن استراتژی اولین ورود، اولین خروج و با توجه به کمترین فاصله تاکسی بیکار تا مسافر، مدل آغاز به کار می‌نماید، سپس در ادامه، استراتژی انتخاب مسافر با توجه به کمترین زمان رسیدن تاکسی در حال خدمت به مسافر بعدی از لیست مسافران را دنبال می‌نماید. این مدل همچنین پارامتر حداقل تعداد تاکسی‌های مورد نیاز هر منطقه را نیز برآورده خواهد ساخت. این تغییر در استراتژی و تلاش برای پوشش تقاضاهای بیشتر خصوصاً در ساعات اوج ترافیک و در مناطقی از شهر تهران که در محدوده تعریف شده طرح ترافیک می‌باشند، بیشترین کارایی را نسبت به سیستم‌های سفارش آنلاین تاکسی در شهر تهران همچون اسنپ و تپسی به دنبال خواهد داشت. نتایج بدست آمده از خوشه‌بندی نقاط تقاضا و ارزیابی مدل پیشنهادی نشان می‌دهد از ۹٦ ایستگاه معرفی شده به عنوان ایستگاه تاکسی‌های هوشمند شهر تهران، ۵۳/۱۲ درصد آن با وضعیت فعلی و بدون تغییرات عمده و هزینه‌بر قابلیت اجرایی دارند. امید است تا در مطالعات آینده عواملی چون پارامتر تعداد تاکسی‌های مورد نیاز با توجه به ساعات اوج ترافیک در هر منطقه از کلان شهر تهران بررسی و مدلی دینامیک برای پوشش تقاضا در ساعات مختلف روز ارائه گردد، همچنین جوانب و اقدامات لازم جهت یکپارچه‌سازی کلیه تاکسی‌های شهر تهران و پیشبرد آن به سمت تاکسی‌های هوشمند مورد بررسی قرار گیرد.

٦-سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت کنترل ترافیک تهران که در زمینه دسترسی به داده‌های موردنیاز این مطالعه، کمال همکاری را داشتند تشکر و قدردانی نمایند.

۷- مراجع

- حبیبیان، م.، دیباج، س. و رحمتی، ی.، (۱۳۹۶)، "بررسی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل ونقل در سفرهای کوتاه کاری به محدوده مرکزی شهر تهران"، مهندسی حمل و نقل، دوره ۸ ، شماره ٤، ص. ٦٦٢-٦٢٧.

- سیدابریشمی، س. الف.، خانزاد، ای.، زرین مهر، اف. ع.، ممدوحی، ا.ر. (۱۳۹٦)، " ارائه یک روش ابتکاری برای طراحی خطوط شبکه حمل ونقل همگانی با استفاده از الگوریتم تولید مسیر"، مهندسی حمل و نقل، دوره ۸ ، شماره ٤، ص. ٦٤٣-٦٥٤.

- حمیدی، ح. الف.، (۱۳۹۵)، " ارائه یک ساختار هوشمند برای مدیریت ترافیک در شرایط اضطرار"، مهندسی حمل و نقل، دوره ۸ ، شماره ۲، ص. ۲۱۵-۲۳۰.

-ANAND, S., PADMANABHAM, P., GOVARDHAN, A. & KULKARNI, R. H. (2018), "An Extensive Review on Data Mining Methods and Clustering Models for Intelligent Transportation System", Journal of Intelligent Systems,Vol. 27, No. 2, pp.263-273.

-BIRANT, D. & KUT, A. (2007) "ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial–temporal data", Data & Knowledge Engineering, Vol. 60, No. 1, pp.208-21.

-BORNDÖRFER, R., GRÖTSCHEL, M., KLOSTERMEIER, F. & KÜTTNER, C., (1999), "Telebus Berlin: Vehicle scheduling in a dial-a-ride system. Computer-Aided Transit scheduling". Springer.

-BREUNIG, M. M., KRIEGEL, H.-P., NG, R. T. & SANDER, J., (2000), "LOF: identifying density-based local outliers". ACM sigmod record, ACM, 93-104.

-CORDEAU, J.-F., GENDREAU, M., LAPORTE, G., POTVIN, J.-Y. & SEMET, F. (2002), "A guide to vehicle routing heuristics", Journal of the Operational Research society", Vol. 53, No. 5, pp. 512-22.

-DE FABRITIIS, C., RAGONA, R. & VALENTI, G., (2008), "Traffic estimation and prediction based on real time floating car data". Intelligent Transportation Systems, ITSC 2008. 1۱th International IEEE Conference on, 2008. IEEE,
pp. 197-203.

-GENDREAU, M., HERTZ, A. & LAPORTE, G., (1994). "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem", Management science, Vol. 40, No. 10, pp. 1276-90.

GLOVER, F. & LAGUNA, M., (1997), "General purpose heuristics for integer programming—Part I", Journal of Heuristics, Vol. 2 , No. 4, pp. 343-58.

-GRAU, J. M. S. & ROMEU, M. A. E., (2015), "Agent based modelling for simulating taxi services", Procedia Computer Science, Vol. 52, pp. 902-07.

-Jamil, M. S., & Akbar, S., (2017), "Taxi passenger hotspot prediction using automatic ARIMA model", In Science in Information Technology, 2017 3rd International Conference on IEEE, pp. 23-28.

-JUNG, J., JAYAKRISHNAN, R. & PARK, J. Y., (2016), "Dynamic Shared-Taxi Dispatch Algorithm with Hybrid-Simulated Annealing", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 275-91.

-KNORR, E. M. & NG, R. T., (1999), "Finding intensional knowledge of distance-based outliers". VLDB, pp. 211-22.

-KNORR, E. M., NG, R. T. & TUCAKOV, V., (2000), "Distance-based outliers: algorithms and applications", The VLDB Journal—The International Journal on Very Large Data Bases, Vol. 8, No. 3-4, pp. 237-53.

-KNOX, E. M. & NG, R. T. (1998), "Algorithms for mining distancebased outliers in large

-PARRAGH, S. N., DOERNER, K. F. & HARTL, R. F., (2010), "Variable neighborhood search for the dial-a-ride problem", Computers & Operations Research, Vol. 37, No. 6, pp. 1129-38.

-Ramasamy, M. & Subramani, B., (2014), "Taxi Drivers Intelligence Based Time Dependent Routing For Smart Driving." Vol. 2, No. 2, pp. 57-63.

Ramaswamy, S., Rastogi, R. & Shim, K. (2000), "Efficient algorithms for mining outliers from large data sets". ACM Sigmod Record, ACM, pp. 427-38.

-Sillito, R. R. & Fisher, R. B., (2008), "Semi-supervised Learning for Anomalous Trajectory Detection". BMVC, pp. 1025-44.

-Toth, P. & Vigo, D., (1997), "An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls", Transportation science, Vol. 31, No. 4, pp.372-85.

-Vidović, M., Radivojević, G. & Raković, B., (2011), "Vehicle routing in containers pickup up and delivery processes", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 20, pp. 335-43.

-WANG, H., CHEU, R. L. & LEE, D.-H. (2014) "Intelligent Taxi Dispatch System for Advance Reservations", Journal of Public Transportation, Vol. 17, No. 3 , pp. 8.

-Xin, F., Liu, J., & Wang, X., (2018), "A Passenger Satisfaction and Loyalty Evaluation Methodology for Intelligent Taxi Dispatching System", Transportation Research Board 97th Annual Meeting, No. 18-02387.

-Yongmei, Z., Youwei, W., Mengmeng, L., Kuo, X. & Sha, G. (2015), "Design and Implementation of the Key Technology for Calling Taxi". Information Technology and Intelligent Transportation Systems: Volume 1, Proceedings of the 2015 International Conference on Information Technology and Intelligent Transportation Systems ITITS 2015, Springer, pp. 653-63.

datasets". Proceedings of the International Conference on Very Large Data Bases, Citeseer, pp. 392-403.

-KOK, A., HANS, E., SCHUTTEN, J. & ZIJM, W. (2010), "A dynamic programming heuristic for vehicle routing with time-dependent travel times and required breaks", Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 22, No. 1-2, pp. 83-108.

-LI, X., HAN, J., KIM, S. & GONZALEZ, H., (2007), "Roam: Rule-and motif-based anomaly detection in massive moving object data sets ." Proceedings of the 2007 SIAM International Conference on Data Mining, SIAM, pp. 273-84.

-LIAO, Z., YU, Y. & CHEN, B., (2010), "Anomaly detection in GPS data based on visual analytics". Visual Analytics Science and Technology (VAST), 2010 IEEE Symposium on, 201 .‹IEEE, pp. 51-58.

-MA, S., ZHENG, Y. & WOLFSON, O., (2015), "Real-time city-scale taxi ridesharing", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 1782-95.

-MACIEJEWSKI, M. & BISCHOFF, J. (2015), "Large-scale Microscopic Simulation of Taxi Services", Procedia Computer Science, Vol. 52, pp. 358-64.

-Miao, F., Han, S., Lin, S., Stankovic, J. A., Zhang, D., Munir, S., Huang, H., He, T. & Pappas, G. J., (2016), "Taxi Dispatch With Real-Time Sensing Data In Metropolitan Areas: A Receding horizon control approach", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 463-78.

-NANRY, W. P. & BARNES, J. W., (2000), "Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search", Transportation Research Part B : Methodological, Vol. 34, No. 2, pp. 107-21.
-Papadimitriou, S., Kitagawa, H., Gibbons, P. B. & Faloutsos, C., (2003), "Loci: Fast outlier detection using the local correlation integral". Data Engineering, 2003. Proceedings. 19th International Conference on, IEEE, pp. 315-26.

-YUAN, J., ZHENG, Y., XIE, X. & SUN, G. (2013) "T-drive: Enhancing driving directions with taxi drivers' intelligence", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 220-32.

-ZHAN, X., QIAN, X. & UKKUSURI, S. V. (2016) "A Graph-Based Approach to Measuring the Efficiency of an Urban Taxi Service System", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No. 9, pp. 2479-89.

-Zhou, Z., Dou, W., Jia, G., Hu, C., Xu, X., Wu, X. & Pan, J., (2016), "A method for real-time trajectory monitoring to improve taxi service using GPS big data", Information & Management. Vol. 53, No. 8, pp. 964-977.