توسعه یک سامانه اطلاع‌رسانی و ارزیابی عملکرد اتوبوسرانی شهری با بکارگیری داده‌های مکانی مردم‌گستر (VGI)

فریده تیموریان (مسئول مکاتبات)، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

علی اصغر آل‌شیخ، دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری و عضو قطب علمی‌فنآوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

عباس علیمحمدی سراب، دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری و عضو قطب علمی‌فنآوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

ابوالقاسم صادقی نیارکی، استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری و عضو قطب علمی‌فنآوری اطلاعات مکان، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: fteymurian@mail.kntu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۱

چکیده:

برنامه‌ریزی و بهبود عملکرد سیستم اتوبوسرانی شهری در گرو توانایی اندازه‌گیری مناسب و بموقع عملکرد مکانی و زمانی آن است. از آنجا که مخاطب سیستم اتوبوسرانی شهری مردم جامعه هستند، توجه به نیازهای مورد درخواست آنها موجب ترغیب شهروندان به استفاده از خدمات اتوبوسرانی می‌شود. به علاوه بنابر تحقیقات گذشته آنها از مهم‌ترین ارزیاب کننده‌های سیستم اتوبوسرانی هستند و به عنوان منبع با ارزشی بشمار می‌روند. اما از چالشهای اصلی مشارکت مردم در ارزیابی عملکرد، نبود بستری یکپارچه و به دنبال آن ناتوانی در جمع‌آوری داده‌های مناسب و بموقع است. در این میان، پیشرفت فنآوریهایی مانند وب ۲، شبکه‌های اجتماعی، فنآوری‌های مکان-آگاه[1] از جمله سیستم تعیین موقعیت جهانی[2]، ردیابی تلفن‌های همراه و سیستم تعیین موقعیت بیسیم، شیوه‌های نوینی از نحوه مشارکت مکانی مردم را فراهم کرده است. اطلاعات مکانی مردم‌گستر می‌تواند به راحتی و به سرعت در محیطی پویا، تعاملی، چندرسانه و توزیع‌یافته، توسط کاربران، با سطوح دانش متفاوت تولید و به اشتراک گذاشته شوند. در این مقاله سامانه ای با بهره‌گیری از فنآوریهای وب ۲، سیستم اطلاعات مکانی مردم‌گستر و برچسب‌گذاری مکانی و بر مبنای معماری سه لایه به عنوان بستری جهت تسهیل مشارکت مردم توسعه داده‌شده است. سامانه مورد نظر علاوه بر اینکه برای شهروندان، اطلاعات به روز و مفیدی در مورد موقعیت خطوط، ایستگاه‌ها، برنامه زمان‌بندی و غیره را فراهم می‌کند، قابلیت اخذ انواع داده‌های ورودی (کمی، کیفی، مکانی، چندرسانه ای) توسط افراد ذینفع (مسافران کنونی و بالقوه، متخصصین و کارکنان) را در هر مکان و زمانی، با صرف هزینه و زمان کم دارد. سپس با بکارگیری روش تاپسیس خطوط اتوبوسرانی رتبه‌بندی می‌شوند و خروجی با استفاده از تکنیک‌های بصری‌سازی مکانی و Google Map API نمایش داده می‌شود. در این مقاله ۵ خط منطقه ٤ شهرداری تهران مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد نشان می‌دهد خط شهرک پارس-میدان رسالت بالاترین رتبه عملکردی را دارد.

واژه‌های کلیدی: داده‌های مکانی مردم‌گستر[3]، وب ۲، برچسب‌گذاری مکانی[4]، ارزیابی عملکرد، حمل‌ونقل عمومی

۱. مقدمه

حمل‌ونقل عمومی‌یکی از عناصر اصلی زندگی شهری مدرن است. امروزه حمل‌ونقل عمومی‌برای اهداف زیادی از جمله مدیریت ترافیک، کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف سوخت و ایجاد فرصتهایی جهت توسعه و بهبود کیفیت زندگی شهری بکارگرفته می‌شود [Niyon-senga, 2012]. سیستم اتوبوسرانی با توجه به ویژگی‌هایی از جمله هزینه مناسب و انعطاف‌پذیری مسیرها، در میان انواع حمل‌ونقل عمومی‌جایگاه ویژه‌ای دارد. برنامه‌ریزی و بهبود عملکرد سیستم اتوبوسرانی شهری در گرو توانایی اندازه‌گیری مناسب و بموقع عملکرد مکانی و زمانی آن است [Polzin, Pendyala and Navari, 2002]. اتوبوسرانی شهری وابستگی تام به کاربران دارد، بنابراین باید نیازهای کاربران را شناسایی و برطرف ساخت و سپس در جهت فراتر رفتن از انتظارات آنها نیز گام برداشت [Nash, 2009]. شهروندان در جهت کمک به این روند تجربه و تخصص زیادی دارند و تنها نیاز به ایجاد راهی برای مشارکت آنها احساس می‌شود [Simone-Noveck, 2009]. مشارکت باید به گونه‌ای باشد که مردم بتوانند بدون محدودیت مکانی و زمانی به صورت فعالانه اقدام کنند. از این طریق سازمانها می‌توانند به راهکارهایی جهت بهبود عملکرد سیستم مطابق با نیازهای جامعه دست یابند.

از چالشهای اصلی مشارکت مردم در ارزیابی عملکرد، عدم وجود بستر مناسب و به دنبال آن عدم توانایی جمع‌آوری داده‌های مناسب و بموقع است. ارزیابی دقیق با توجه به نظر کاربران به حجم وسیعی از داده‌ها نیاز دارد که هزینه بالای جمع‌آوری، مدیریت و آنالیز آنها و همچنین زمان‌بر بودن این فرآیند و ماهیت دینامیک معیارها موجب می‌شود تا مشارکت همگانی در ارزیابی عملکرد به صورت کامل محقق نگردد. یک راه حل برای این چالش، بکارگیری اطلاعات مکانی مردم‌گستر و فنآوری وب ۲ است.

توسعه وب ۲ با هدف توانمندسازی مردم در مشارکت و به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات تأثیر چشمگیری بر نحوه تولید اطلاعات مکانی داشته است. [Ostermann and Spinsanti, 2012]. اطلاعات مکانی مردم‌گستر به اطلاعات مکانی اطلاق می‌شود که توسط افراد مختلف با سطوح دانش متفاوت به صورت داوطلبانه تولید می‌شوند [Goodchild, 2007; Poser and Dransch, 2010]. از قابلیتهای وب ۲ امکان برچسب‌گذاری مکانی است، به این معنی که مشخصات موقعیت محتوای مورد نظر به متا دیتای آن اضافه می‌شوند.

برچسب‌گذاری مکانی به صورت خودکار توسط ابزارهای مجهز به سیستم تعیین موقعیت جهانی (مانند دوربین و تلفن همراه) و یا به صورت دستی با اتصال محتوی به یک موقعیت از طریق نقشه تحت وب انجام می‌شود [Ruitton-Allinieu, 2011]. این فنآوری فرصتهای بی‌سابقه‌ای را برای بکارگیری داده‌های مکانی مردم‌گستر در حمل‌ونقل عمومی‌فراتر از کاربردهای کنونی سیستم اطلاعات مکانی فراهم می‌آورد [Shaw, 2010] .

با توجه به قابلیت‌های مختلف سامانه‌های مبتنی بر داده‌های مکانی مردم‌گستر در حمل‌ونقل عمومی، سه حوزه کلی در راستای بهبود و حل موثر مشکلات حمل‌ونقل عمومی‌شامل فراهم کردن اطلاعات، برنامه‌ریزی و پایش، متصور هستند [Teymurian et al. 2013]. در سالهای اخیر اطلاعات مکانی مردم‌گستر به منظور اهداف مختلفی چون جمع‌آوری و به اشتراک‌گذاری اطلاعات ترافیکی، داده‌های ردیابی مسیر اتوبوس، حوادث غیر منتظره، برنامه‌ریزی سفر و توسعه شبکه خطوط مورد استفاده قرار گرفتند[Roch et al. 2012]و [Zhou, Zheng and Li, 2012].

در میان تحقیقات انجام شده در حوزه ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوسرانی شهری، تعداد کمی‌از پژوهش‌ها به بررسی عملکرد سیستم از هر دو جنبه مسافران و سازمان پرداخته‌اند. برای مثال ناتانیال و همکاران چارچوبی را به منظور نظارت و کنترل کیفیت ارائه‌شده به مسافران راه‌آهن توسعه دادند. در این چارچوب، نظرات مردم به واسطه پرسشنامه‌ها اخذ شده است و شاخص‌های به دست‌آمده از

نظرات مردم و منابع اپراتورهای راه‌آهن هم‌مقیاس شده و با استفاده از تحلیل چند معیاری تلفیق شده‌اند [Nathanail, 2008].

ابلی و همکاران یک متدولوژی را برای اندازه‌گیری کیفیت سیستم حمل‌ونقل عمومی‌با در نظرگرفتن دیدگاه مسافران و سازمان ارایه کردند. در این متدولوژی، کاربران نرخ رضایت خود از سیستم را بر مبنای مقیاس ۰ تا ۱۰ بیان می‌کنند. سپس شاخصی برای هر معیار به عنوان مقدار میانه بین اندازه‌گیری کاربران و سازمان محاسبه می‌شود. شاخص نهایی از حل مسئله بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن فاصله بین این دو اندازه‌گیری با روش کم‌ترین مربعات تعمیم‌یافته[5] به دست می‌آید [Eboli and Mazzulla, 2011].

یکی از برنامه‌های کاربردی داده‌های مکانی مردم‌گستر در حمل‌ونقل، مسیر دوچرخه یا سایکلوپث[6] است. سایکلوپث با استفاده از قابلیت‌های وب ۲ این امکان را فراهم می‌آورد تا کاربران توانایی دوچرخه‌سواری شخصی خود، ایده‌ها، تجربیات و نظراتشان را وارد کند. به علاوه کاربران می‌توانند برچسب‌های مکانی را در مورد مکانهای خاص وارد کند و مسیرهای دوچرخه جدید پیشنهاد کنند. این سیستم رتبه‌بندی می‌تواند به یافتن بهترین مسیر مطابق با علایق کاربران کمک کند [www.cyclopath.org., 2013].

ژانگ و همکاران، مدلی را برای مشارکت مردم در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل با بکارگیری یک درگاه مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی تحت وب ارائه کردند. با بکارگیری درگاه مذکور، هر فرد از طریق دسترسی به اینترنت در فرآیند برنامه‌ریزی شرکت می‌کند. پرتال مذکور از ارتباط دوطرفه مجازی حمایت می‌کند و به شهروندان این امکان را می‌دهد تا نظر خود را درباره طرح‌های پیشنهادی دولت بیان کنند [Zhong, Kae-Young and Scott-Rutherford, 2008].

با بررسی تحقیقات گذشته مشخص می‌شود که گرایش زیادی به جهت بهره‌گیری از کاربران سیستم اتوبوسرانی در ارزیابی عملکردی آن وجود دارد، اما با توجه به محدودیت‌های زیرساختی به منظور مشارکت کاربران در ارزیابی عملکرد، تنها با انتخاب یک نمونه آماری از جامعه کاربران با استفاده از پرسشنامه، نظرات آنها اخذ و تحلیل شده‌اند، در حالی که پرسشنامه‌ها تنها برخی داده‌های کیفی را در اختیار قرار می‌دهند و امکان انجام تحلیل‌های مکانی در آنها وجود ندارد.

به‌علاوه، مشارکت از طریق پرسشنامه محدود به مکان و زمان است و تنها از مسافران کنونی سیستم در ارزیابی عملکرد بهره گرفته می‌شود، در صورتی که افراد دیگر از جمله کارکنان سیستم، متخصصین حمل‌ونقل و مسافران بالقوه در نظر گرفته نشده‌اند، در حالی که این گروه از افراد اطلاعات بسیار مهمی‌دارند برای مثال، اگر بتوان دلیل استفاده نکردن آنها از سیستم را دریافته و در صدد رفع آن اقدام کرد، تمایل آنها به استفاده از سیستم افزایش می‌یابد. همچنین آگاهی کاربران از وضعیت عملکرد اتوبوسرانی امری است که موجب افزایش حس اعتماد آنها به سازمان و افزایش تمایل به استفاده از سیستم اتوبوسرانی خواهد شد که در تحقیقات گذشته به این موضوع توجهی نشده است. وجه تمایز این مقاله با سایر تحقیقات، ارائه سامانه ای به منظور بهبود مشکلات بیان شده در تحقیقات گذشته است.

هدف از این مقاله بکارگیری اطلاعات مکانی مردم‌گستر در حوزه پایش اتوبوسرانی شهری است. در این راستا سامانه اطلاع‌رسانی و ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوسرانی، با بکارگیری برچسب‌گذاری مکانی و فنآوری وب ۲ به منظور تسهیل مشارکت تمامی‌افراد، جمع‌آوری داده‌های مناسب و به روز با صرف هزینه و زمان کم و درنهایت انجام ارزیابی عملکرد خطوط اتوبوسرانی با درنظرگرفتن دو دیدگاه ذینفعان در سیستم (مسافران کنونی و بالقوه، متخصصین و کارکنان) و سازمان توسعه داده شده است.

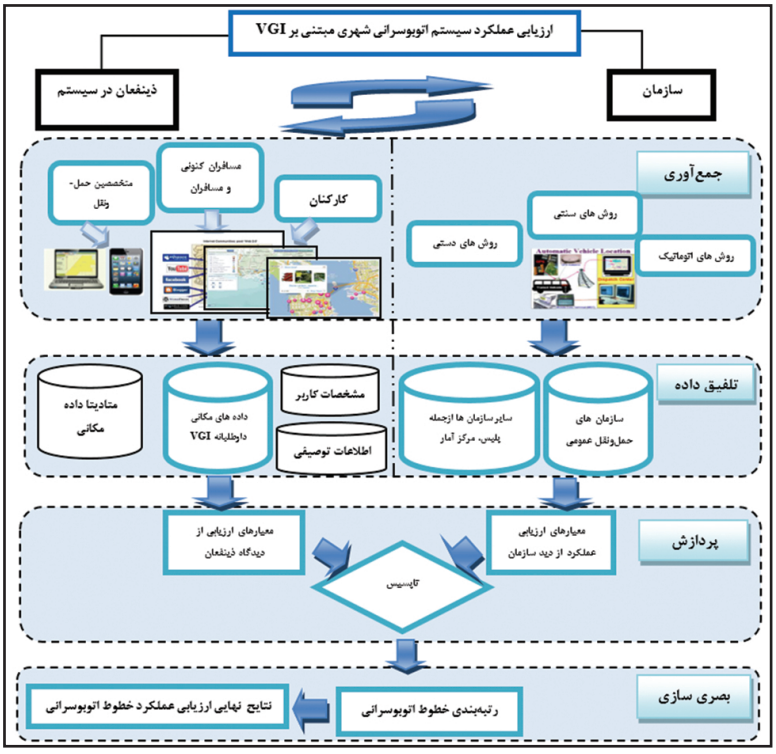
در این راستا ابتدا در بخش دوم، روش‌شناسی تحقیق شامل روش پیشنهادی، معیارها و معماری سامانه شرح داده می‌شود. در بخش سوم، تشریح پیاده‌سازی نمونه پیشنهادی بیان می‌گردد و در بخش چهارم، به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲. روش شناسی تحقیق

تاکنون روشهای مختلفی برای ارزیابی عملکرد اتوبوسرانی از جمله کم‌ترین مربعات، ضرایب همبستگی و تحلیل پوششی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به علاوه روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز با توجه به توانایی خوب این روشها در رویارویی با معیارها و زیرمعیارهای مختلف و همچنین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برای ارزیابی عملکرد مناسب هستند. در این میان روش تاپسیس به علت داشتن مزایایی از جمله منطق قوی، محاسبات ریاضی ساده و در نظر گرفتن بهترین و بدترین راه حل، توسط محققین توصیه شده است [Nurul-Hassan, Havas and Ahmed, 2013; Nezdah and Damghani, 2011]. به علاوه این روش توانایی قابل توجهی در رویارویی با مسائل تصمیم‌گیری دارای تعداد گزینه‌های بالا دارد و عملکرد نسبی هر گزینه را تعیین می‌کند. این روش، زمانی که معیارها کمّی هستند، بیشتر کاربرد دارد، اما توانایی در نظرگرفتن همزمان هر دو نوع معیار کمّی و کیفی را دارد [Saaty and Ozdemir, 2003; Soltani, Zargari Marandi and Esmaili Ivaki, 2013; Shih and Lee, 2007].

در فرآیند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیریها در حوزه حمل‌ونقل عمومی، تا حدودی شکاف فرهنگی و تجربی میان متخصصین و مردم وجود دارد. مردمی‌که با سیستم درگیر هستند، به خوبی مشکلات سیستم را درک می‌کنند؛ بنابراین در این مقاله متدولوژی به منظور بهره‌گیری از ذینفعان در سیستم و سازمان در ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوسرانی موجود، ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، در این متدولوژی تعامل دوطرفه‌ای بین ذینفعان در سیستم و سازمان وجود دارد. متدولوژی شامل ۴ مرحله اصلی جمع‌آوری داده، تلفیق داده، پردازش و بصری‌سازی است.

در مرحله اول، داده‌های مورد نیاز از دو منبع به دست می‌آیند: پایگاه داده‌های موجود در سازمان و اطلاعات جمع‌آوری شده توسط ذینفعان در سیستم. ذینفعان پس از ثبت نام در سیستم با استفاده از روشهای برچسب‌گذاری مکانی، بارگذاری محتوای مکانی تولید شده توسط ابزارهای مجهز به سیستم تعیین موقعیت جهانی (مانند دوربین و تلفن همراه)، اتصال محتوا به یک موقعیت از طریق نقشه تحت وب و یا با پر کردن فرمهای طراحی شده به صورت داوطلبانه



شکل ۱. ساختار مفهومی‌ارزیابی عملکرد

داده‌های مکانی و غیرمکانی تولید می‌کنند. در مرحله بعد پس از پردازش اولیه، داده‌های به دست آمده در قالب فرمت استاندارد در پایگاه داده ذخیره خواهند شد. در مرحله سوم، بر اساس اوزان به دست آمده از نظرات کارشناسان و معیارهای طراحی شده، مقدار هر شاخص محاسبه شده و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس خطوط، رتبه‌بندی می‌شوند و در مرحله آخر نتایج رتبه‌بندی از طریق واسط کاربری و با بکارگیری تکنیک بصری سازی نمایش داده خواهند شد.

۲-۱ معیارهای ارزیابی عملکرد اتوبوسرانی شهری

عملکرد سیستم اتوبوسرانی بر اساس معیارهای مختلفی ارزیابی می‌شود و خود این معیارها بر اساس شاخص‌های مختلف محاسبه می‌گردند. معیارهای قابلیت استفاده مکانی[۷]، قابلیت استفاده زمانی[۸] و ارائه سرویس[۹] از مهم‌ترین عوامل برای مسافران در ارزیابی عملکرد سیستم بشمار می‌روند و به علاوه این معیارها به بررسی تعامل بین مردم و سازمان می‌پردازند، بنابراین سه معیار فوق برای بررسی انتخاب شده‌اند [Kittelson et.al., 2003]. شاخص‌هایی که در سیستم ارزیابی عملکرد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، بر مبنای معیارهایی هستند که در راستای نیل به اهداف کلی مورد نظر در چشم‌انداز طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران در افق ۱۴۰۴ تعیین می‌شوند که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود .[United Bus Company of Tehran, 2008]

* تسهیل جابجایی مسافران بین وسایل نقلیه در نقاط مهم تبادل سفر
* افزایش راحتی مسافران در سیستم حمل‌ونقل همگانی و شبه همگانی
* افزایش سهم کاربران سیستم در تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقلی
* افزایش کمی و کیفی ارائه خدمات به شهروندان
* ایجاد سیستم هوشمند مدیریت و کنترل (GIS و GPS)

هر یک از این سه معیار با توجه به اینکه پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخصها از مشارکت ذینفعان در سیستم به دست آیند و یا از پایگاه داده‌های موجود در سازمان، به دو گروه تقسیم می‌شوند که در جدول ۱ و ۲ آمده‌اند. هر یک از این شاخصها بر اساس روابط ریاضی محاسبه می‌شوند. برای نمونه یک مورد از روابط ریاضی و نحوه محاسبه شاخص مدت زمان انتظار به شرح زیر است:

شاخص مدت زمان انتظار از رابطه ۱ با توجه به پارامترهای ورودی به دست‌آمده از سیستم تعیین موقعیت جهانی شرکت واحد به دست می‌آید. این شاخص از دیدگاه سازمان حمل‌ونقل است و برای هر خط محاسبه می‌شود [Tyrinopoulos and Aifadopoulou, 2008].

$$SW_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}(sh_{ij})^2}{2 * \sum_{j=1}^{n} sh_{ij}} \quad و \quad AW_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}(ah_{ij})^2}{2 * \sum_{j=1}^{n} ah_{ij}} \quad و \quad D_i = \frac{AW_i - SW_i}{SW_i} \qquad (۱)$$

sh_{ij}: شمارنده خط، j : شمارنده سرفاصله‌ها

sh_{ij} : تمامی‌سرفاصله‌های برنامه‌ریزی شده برای خط i

ah_{ij} : تمامی‌سرفاصله‌های برداشت شده (واقعی) برای خط i

D_i : مدت زمان انتظار برای خط i

۲-۱-۱ قابلیت استفاده

اتوبوس در زمان و مکانی که مسافر می‌خواهد باید فراهم باشد تا مود انتخابی او، اتوبوس باشد. قابلیت استفاده توسط معیارهایی از جمله: قابلیت استفاده مکانی (سرویس در چه مکانی فراهم است)، قابلیت استفاده زمانی (در چه زمانهایی و به چه مدت سرویس فراهم است) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [Kittelson et al. 2003].

۲-۱-۲ ارائه سرویس

ارائه سرویس به بررسی تجربه روزانه مسافرین از سیستم می‌پردازد. برخی اندازه‌گیری‌های این حوزه پیچیده‌اند و به جمع‌آوری اتوماتیک و دستی داده‌ها نیاز دارند. به‌علاوه اندازه‌گیری‌های مربوط به ارائه سرویس و جمع‌آوری داده‌های منظم بسیار ارزشمند است، چرا که به شناسایی محدوده‌هایی که برای کاربران سیستم بسیار اهمیت دارند، منجر می‌شوند. این معیار میزان اعتماد مردم به سیستم، کیفیت تعامل بین مردم و کارکنان حمل‌ونقل، راحتی مسافران، رضایت کلی

مسافران، میزان توصیه مسافران به دیگر افراد برای استفاده از سیستم و اینکه تا چه حد سیستم به اهداف کوتاه مدت خود رسیده است را، ارزیابی می‌کند [Kittelson et al. 2003].

جدول ۱. طبقه بندی معیارهای ارزیابی عملکرد از دیدگاه ذینفعان در سیستم

طبقه بندی معیارها	شاخص	توضیحات	نحوه اندازه گیری پارامتر های مورد نیاز با استفاده از مشارکت ذینفعان
قابلیت استفاده مکانی	متناطق عدم پوشش با توجه به کاربری(مراکز آموزشی و درمانی و خدماتی، مراکز تجاری، منطقه مسکونی) ، تعداد ایستگاه ها، فاصله بین ایستگاه ها، درخواست احداث ایستگاه جدید، درخواست حذف ایستگاه موجود	توزیع خطوط و ایستگاه های هر خط باید به گونه ای باشد که از نظر مکانی برای کاربر قابل دسترس باشد. لذا موقعیت و نحوه قرارگیری ایستگاه های اتوبوس نقش بسیار مهمی در استفاده از آن دارد.	برچسب گذاری مکانی پرکردن فرمهای طراحی شده در سامانه ابزارهای مجهز به سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS (مانند دوربین و تلفن همراه) اتصال مستقیم به یک موقعیت از طریق نقشه تحت وب
قابلیت استفاده زمانی	زمان انتظار در ایستگاه تا آمدن اتوبوس	برای کاربر باید مشخص باشد چه زمانی و به چه مدت سرویس فراهم است. مدت زمان انتظار از المان های اصلی در تعیین میزان رضایت کاربران است.	
ارائه سرویس	شرایط و رتبه تجهیزاتی ایستگاه(وجود نقشه راهنما، وجود تابلو توقف ممتنع در ایستگاه)، قابلیت اعتماد، رضایت کلی مسافران	ارائه سرویس به بررسی تجزیه روزانه مسافرین از سیستم حمل و نقل عمومی ، رضایت کلی مسافران، میزان توصیه مسافران به دیگر افراد برای استفاده از سیستم می‌پردازد.	

جدول ۲. طبقه بندی معیارهای ارزیابی عملکرد از دیدگاه سازمان حمل‌ونقل

طبقه بندی معیارها	شاخص	توضیحات	نحوه اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز
قابلیت استفاده مکانی	پوشش خدمات، متوسط فاصله بین ایستگاهها در هر خط	از نظر سازمان میزان جمعیتی که هر خط تحت پوشش قرار می دهد و متوسط فاصله بین ایستگاه ها(که استاندارد آن با توجه به نوع کاربری و منطقه متفاوت است) اهمیت فراوانی دارد.	شناسایی خودکار مسافر، فرم کنترل خط سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS روش های ارتباط بی سیم پایگاه داده های تولید شده توسط سازمان های دیگر سیستم اطلاعات مکانی
قابلیت استفاده زمانی	فرکانس، زمان انتظار برای هر خط	طول زمان سرویس‌دهی و فرکانس بر راحتی استفاده افراد از سیستم حمل‌ونقل عمومی و تعداد سفرهایی که می تواند با حمل‌ونقل عمومی انجام می‌گیرد تاثیر زیادی دارد.	
ارائه سرویس	عملکرد به موقع، نظم سرفاصله	به منظور ارزیابی عملکرد سازمان می خواهد بداند که در هر خط تا چه میزان عملکرد فعلی با برنامه زمان‌بندی مطابقت دارد. افزایش این میزان اختلاف، حاکی از کاهش کیفیت خدمات ارائه شده است	

۲-۲ مدل تاپسیس

یکی از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره تکنیک تاپسیس[10] است. این روش توسط Hwang و Yoon برمبنای شباهت با جواب ایده‌آل پیشنهاد شده است. اساس روش تاپسیس، تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی است. راه حل ایده‌آل مثبت راه حلی است که معیارهای سود را بیشینه و معیارهای هزینه را کمینه می‌کند، در حالی که راه حل ایده‌آل منفی، راه حلی است که معیارهای سود را کمینه و معیارهای هزینه را بیشینه می‌کند؛ به طور خلاصه راه حل ایده‌آل شامل تمام بهترین مقادیر از معیارهای قابل دسترسی و راه حل ایده‌آل منفی شامل تمام بدترین مقادیر از معیارهای قابل دسترسی است. در این میان بهینه‌ترین گزینه، گزینه‌ای است که بیشترین فاصله را از حل ایده‌آل منفی و کمترین فاصله را از راه حل ایده‌آل داشته باشد [Hwang and Yoon, 1981].

۲-۲-۱ الگوریتم روش تاپسیس

روش تاپسیس ماتریس تصمیمی‌را ارزیابی می‌کند که شامل m گزینه و n معیار (شاخص) است.

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_j \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} X_1 & & X_2 & & X_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{21} & \cdots & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

A_1گزینه i ام و مقدار عددی به دست آمده از گزینه i ام با معیار (شاخص) jام است.

در این ماتریس شاخصی که دارای مطلوبیت به طور یکنواخت افزایشی باشد (جنبه مثبت) شاخص سود و شاخصی که دارای مطلوبیت به طور یکنواخت کاهشی (جنبه منفی) است، شاخص هزینه است. علاوه بر این، هر نتیجه اظهار شده در ماتریس تصمیم لازم است کمّی شود و از آنجا که شاخصها برای تصمیم‌گیرنده از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، مجموعه‌ای از وزنها از سوی تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود [Saaty and Ozdemir, 2003]. مراحل انجام این روش در ادامه شرح داده می‌شود.

مرحله ۱) نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم

این فرآیند سعی می‌کند مقیاسهای موجود در ماتریس تصمیم را بدون مقیاس کند. به این ترتیب که هر کدام از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان شاخص تقسیم می‌شوند. هر درایه r_{ij} از ماتریس تصمیم نرمالایزشده R از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad (۲)$$

مرحله ۲) وزن دادن ماتریس تصمیم نرمالیزه شده

مجموعه‌ای از وزنها $W=W_1,W_2,...,W_n$ که $\sum_{i=1}^{m} w_i = 1$ توسط تصمیم‌گیرندگان برای شاخصها در نظر گرفته می‌شوند و با

ضرب کردن ستون j ام ماتریس R در وزن مربوطه ماتریس تصمیم نرمالایزه وزندار V به صورت زیر به دست می‌آید.

$$V=\begin{bmatrix} w_1r_{11} & \cdots & w_2r_{12} & \cdots & w_nr_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_1r_{21} & \cdots & w_2r_{22} & \cdots & w_nr_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1r_{m1} & \cdots & w_2r_{m2} & \cdots & w_nr_{mn} \end{bmatrix}$$

مرحله ۳) تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

دو گزینه مجازی A^* (گزینه ایده‌آل مثبت) و A^- (گزینه ایده‌آل منفی) را به صورت روابط ۳ و ۴ تعریف می‌کنیم.

$$A^* = \{(max_i v_{ij}|j \in J), (min_i v_{ij}|j \in J') \quad |i = 1,2,\dots,m\} = (v_1^*, v_2^*, \dots v_n^*) \qquad (۳)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij}|j \in J), (max_i v_{ij}|j \in J') \quad |i = 1,2,\dots,m\} = (v_1^-, v_2^-, \dots v_n^-) \qquad (۴)$$

$j \in J$: مربوط به معیار (شاخص) سود

$j \in J'$: مربوط به معیار (شاخص) هزینه

مرحله ۴) فاصله بین هر گزینه n بعدی را می‌توان به روش اقلیدسی سنجید، فاصله گزینه i ام از ایده‌آل مثبت با رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-v_j^*)^2} \qquad i = 1,2,\dots,m \qquad (۵)$$

به طور مشابه، فاصله گزینه i ام از ایده‌آل منفی به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-v_j^-)^2} \qquad i = 1,2,\dots,m \qquad (۶)$$

مرحله ۵) محاسبه نزدیکی نسبی A_i نسبت به A^* صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود.

$$C_{i^*} = \frac{S_i^-}{S_{i^*}+S_i^-} \qquad 0 < C_{i^*} < 1 \qquad i = 1,2,\dots,m \qquad (۷)$$

ملاحظه می‌شود که اگر آنگاه، پس هر چقدر گزینه به راه حل ایده‌آل نزدیک‌تر باشد به واحد نزدیک‌تر خواهد بود.

مرحله ۶) رتبه‌بندی گزینه‌ها

بر اساس ترتیب نزولی می‌توان گزینه‌های موجود را رتبه‌بندی نمود.

۲-۳ معماری سامانه

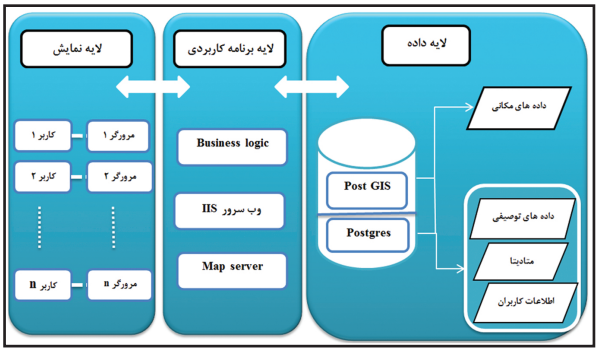
معماری سامانه پیشنهادی متشکل از سه لایه: داده، برنامه کاربردی و نمایش است که در شکل ۲ ارائه شده است. لایه نمایش بخشی از برنامه است که با کاربر ارتباط برقرار می‌کند. این لایه شامل واسط کاربری و کدهای مورد نیاز جهت دریافت مقادیر ورودی از کاربر و نمایش نتایج بر روی مرورگر کاربر است. لایه برنامه کاربردی وظیفه اعتبارسنجی داده‌ها و پردازشهای مورد نیاز را بر عهده دارد. وب سرور و سرور نقشه نیز در این لایه قرار دارند. لایه داده نیز وظیفه مدیریت و ذخیره‌سازی داده‌های مورد نیاز لایه برنامه کاربردی از جمله داده‌های مکانی، اطلاعات مربوط به کاربران سامانه، اطلاعات توصیفی و متا دیتا را بر عهده دارد.

۳. پیاده‌سازی نمونه پیشنهادی

با توجه به معماری ذکر شده در فوق، برنامه کاربردی مبتنی بر فنآوری‌های وب ۲، اطلاعات مکانی مردم‌گستر، برچسب‌گذاری مکانی با استفاده از سکوی Net Framework 4 . و به زبان #C توسعه داده شد.

در لایه نمایش این سامانه به منظور افزایش کارآیی سامانه و کاربرپسند بودن آن از سکوی توسعه برنامه مکانی تحت وب Google MapAPI و فنآوری‌های HTML[۱۱] و Javascript و CSS[۱۲] و Jquery استفاده شده است.

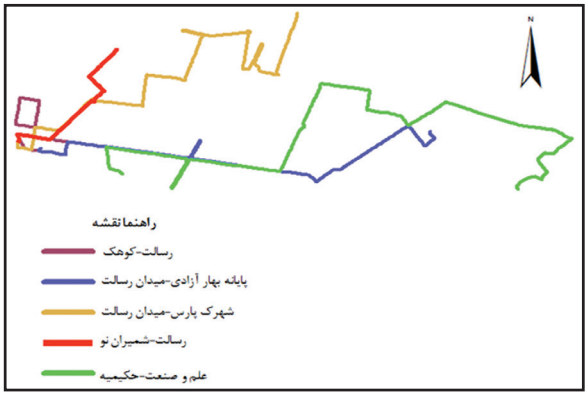
همچنین این لایه شامل فرم‌های وب و کنترلهای کاربر بوده که با استفاده از چارچوب Asp.Net برای پیاده‌سازی واسط کاربر بکار برده شده‌اند.در لایه داده از پایگاه داده متن‌باز رابطه‌ای-شیگرا Post-greSQL 9.2 برای مدیریت و نگهداری داده‌هایی از جمله اطلاعات کاربران، اطلاعات توصیفی واردشده در فرم‌ها، مؤلفه‌های غیر مکانی متا دیتا محتوا تولیدشده توسط کاربر استفاده شده است. همچنین به منظور ذخیره‌سازی عوارض مکانی (برای مثال نقاط وارد شده توسط کاربر در فرمت برداری)، مؤلفه مکانی متادیتای محتوا تولید شده توسط کاربر و انجام پرس و جوی مکانی داده‌ها از بسته مکانی PostGIS 2.0 استفاده شده است.



شکل ۲. معماری پیشنهادی سامانه مورد نظر

۳-۱ محدوده مورد مطالعه

منطقه ۴ شهرداری تهران نزدیک به ۱۰٪ مساحت دارد و حدود ۱۱٪ جمعیت کل تهران را تشکیل می‌دهد. به‌علاوه با توجه به ویژگی‌های خاص این منطقه از جمله کاربری آموزش عالی مانند دانشگاه علم و صنعت، دانشگاه آب و برق، دانشگاه امام حسین و وجود پایانه علم و صنعت، مطابق شکل ۳ در این مقاله ۵ خط اتوبوسرانی در منطقه ۴ شهرداری تهران برای نمونه مورد استفاده قرار گرفت [Tehran Municipality Region 4 , 2013] . اطلاعات مکانی شامل موقعیت خطوط و ایستگاه‌ها، بلوکهای جمعیتی در فرمت .shp از شرکت کنترل ترافیک، اطلاعات زمانی و داده‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی شامل جداول زمان‌بندی، سرفاصله‌های برنامه‌ریزی، سرفاصله‌های برداشت شده توسط GPS متصل بر اتوبوسها، تعداد اتوبوسهای اعزام‌شده و زمان اعزام آنها در فرمت Excel از شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه در بازه زمانی ده روزه در نیمه دوم مرداد ماه سال ۹۲ اخذ شد. مشخصات خطوط مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.



شکل۳. خطوط مورد بررسی

شکل ۴ نمای کلی رابط کاربری سامانه را نشان می‌دهد.

کاربران می‌توانند با انتخاب خطوط مورد نظر از موقعیت ایستگاه‌ها بر روی نقشه و با انتخاب زمان مورد نظر از زمان‌بندی آنها مطلع شوند. اطلاعاتی در مورد سامانه مسیریابی اینترنتی و سامانه پیامکی موجود برای تخمین زمان انتظار در ایستگاه نیز برای کاربر فراهم است.

جدول ۳. ویژگی‌های خطوط مورد بررسی

ردیف	مبدا	مقصد	طول مسیر(متر)	نوع خط	تعداد ایستگاه
۱	رسالت	کوهک	۴۴۷۰	منطقه	۱۳
۲	پایانه بهار آزادی	رسالت	۹۱۶۱	خصوصی	۲۹
۳	شهرک پارس	میدان رسالت	۱۱۲۷۹	منطقه	۳۳
۴	رسالت	شمیران نو	۳۳۶۵	خصوصی	۱۴
۵	علم و صنعت	حکیمیه	۱۴۵۰۰	منطقه	۳۷

در صورتی که کاربر بخواهد اقدامات دیگری از جمله مشاهده عملکرد خطوط، ورود داده‌های مکانی، بیان نظرات، انتقادات و راه‌حلها را انجام دهد، ابتدا در سامانه ثبت نام می‌کند. سپس از بین گروه معیارهای موجود، معیار مدنظر را انتخاب می‌کند و اطلاعات مورد نیاز را در فرمها و محتوای مکانی را به روشهای مذکور وارد می‌کند. برای نمونه یک مورد از این عملیات در زیر آمده است.

شکل ۴. صفحه اصلی رابط کاربری سامانه

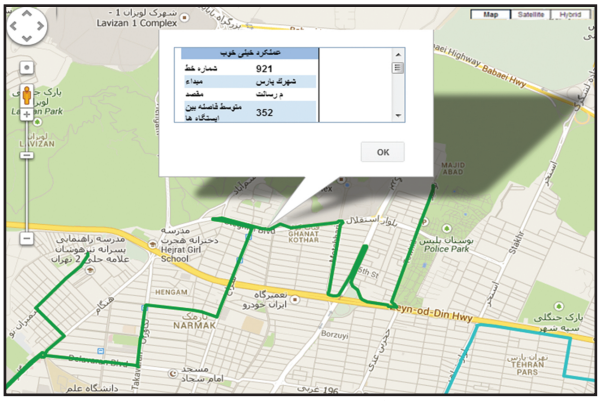
۳-۲ گروه معیار قابلیت استفاده زمانی، شاخص زمان انتظار

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در این قسمت پس از اینکه کاربر مدت زمان انتظار را وارد کرد، سامانه دو حالت را در نظر می‌گیرد. حالت اول ورود اطلاعات از طریق عکسی است که با دوربین مجهز به سیستم تعیین موقعیت جهانی اخذ شده باشد. در این حالت کاربر می‌تواند عکسی از ایستگاه مورد نظر زمانی که اتوبوس بیش از اندازه تأخیر داشته است را اخذ کرده و از طریق سامانه بارگذاری کند.

شکل ۵. فرم شاخص زمان انتظار در سامانه

به واسطه توابع موجود در لایه برنامه کاربردی متادیتا عکس از جمله موقعیت و زمان اخذ تصویر به دست می‌آید و تصویر در موقعیت اخذ شده برچسب‌گذاری می‌شود. همچنین امکان مشاهده متادیتای عکس برای کاربر وجود دارد. حالت دوم برای زمانی است که کاربر چنین عکسی ندارد و پس از انتخاب ایستگاه بر روی نقشه، تاریخ و زمان مربوطه را به صورت دستی وارد می‌کند.

این اطلاعات در پایگاه داده موجود در لایه داده ذخیره می‌شوند. سپس از طریق توابع موجود در لایه برنامه کاربردی مقدار شاخص‌ها محاسبه می‌شوند. در نهایت با استفاده از داده‌های به دست آمده از مشارکت ذینفعان در سیستم و پایگاه داده‌های موجود در سامانه بر مبنای روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس خطوط رتبه‌بندی شده و با استفاده از تکنیکهای بصری‌سازی همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با توجه به رتبه‌شان به رنگ‌های مختلف نمایش داده می‌شوند. به‌علاوه با کلیک کردن بر هر خط مشخصات آن خط و عملکرد آن قابل مشاهده است.



شکل ۶. خروجی سامانه

فاصله‌های نسبی هر گزینه به دست‌آمده از روش تاپسیس در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خط شهرک پارس–میدان رسالت فاصله نسبی بیشتری دارد، بنابراین بالاترین رتبه عملکردی را اخذ کرده است. این امر به دلایلی از جمله تواتر مناسب این خط، متوسط در بازه زمانی مورد مطالعه در حدود ۱۴ دقیقه و همچنین توزیع مناسب ایستگاه‌های آن است.

شکل ۷. رتبه عملکردی خطوط مورد مطالعه

خط رسالت– کوهک کم‌ترین فاصله نسبی را دارد و پایین‌ترین رتبه عملکردی را اخذ کرده است. این خط از نوع خطوط گردشی است، به بیان دیگر اتوبوس از مبدا رسالت شروع به حرکت کرده و سپس به رسالت باز می‌گردد. با توجه به اینکه خط مذکور به منظور دسترسی محلی ایجاد شده است و اکثر مسافران آن محلی هستند، به علاوه از لحاظ ارتباطی دارای خط تاکسیرانی نیز هست، تا حدودی عملکرد ضعیف آن در مقایسه با سایر خطوط قابل توجیه است، اما عواملی چون تواتر بالای این خط، متوسط در ده روز در حدود ۲۸

دقیقه که دو برابر خط شهرک پارس- میدان رسالت است و انحراف بالای آن از برنامه زمان‌بندی باعث نارضایتی کاربران و درخواست آنها مبنی بر اضافه کردن اتوبوس در این خط شده است.

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به توسعه یک سامانه اطلاع‌رسانی و ارزیابی عملکرد اتوبوسرانی شهری پرداخته شد. سامانه مورد نظر بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی مردم‌گستر با بکارگیری فنآوری وب ۲ و برچسب‌گذاری مکانی بنا نهاده شد. این سامانه به منظور ارزیابی عملکرد برخی خطوط منطقه ۴ شهرداری تهران با استفاده از روش تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از خروجی سامانه نشان می‌دهد که سیستم اتوبوسرانی شهری تهران، در بخش مطالعه شده از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار است. خط رسالت-کوهک نسبت به سایر خطوط مورد مطالعه عملکرد ضعیفی دارد که با توجه به نوع خط و دسترسی محلی قابل توجیه است. به منظور بهبود عملکرد خطوط و افزایش تمایل کاربران به استفاده از سیستم، افزایش تعداد اتوبوس در خط حکیمیه-علم و صنعت، و کاهش انحراف از برنامه زمان بندی در خط پایانه بهار آزادی- میدان رسالت پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه داده‌های مکانی مردم‌گستر توسط کاربران غیرحرفه‌ای با سطح توانایی و علایق مختلف تولید می‌شوند، پیشنهاد می‌شود راهکارهایی جهت بررسی و ارزیابی قابلیت استفاده و کیفیت این داده‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۵. پی نوشتها

1. Global Position System
2. Location Aware
3. Volunteer Geographic Information
4. Geo-tagging
5. Generalized least squares
6. Cyclopath
7. Spatial availability
8. Temporal availability
9. Service delivery
10. TOPSIS
11. Hyper Text Markup Language
12. Cascading Style Sheets

۶. مراجع

- شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه (۱۳۸۷) "برنامه ۵ ساله شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه"، تهران.

- شهرداری منطقه ۴ تهران (۱۳۹۲) «صفحه درباره منطقه»، وبسایت شهرداری منطقه ۴ تهران. آخرین بازدید در تاریخ ۱۳۹۲/۸/۱۵.
http://region4.tehran.ir/Default aspx?tabid = 514 & CategoryID=31

- Eboli, L. and Mazzulla, G. (2011) "A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view", Transport Policy, An International Journal, Vol. 18, No. 1, January, pp. 172–181.

- Goodchild, M. F. (2007) "Citizens as sensors: The world of volunteered geography", GeoJournal, Vol. 69, No. 4, August, pp. 211–221.

- Hwang, Chin-Lai and Yoon, Kwangsun (1981) "Multiple attribute decision making", SAGE Publications, Springer.

- Kittelson & Associated, Inc. (2003) "A guidebook for developing a transit performance-measurement system", Washington, DC: Transit Cooperative Research Program.

- Nash, Andrew (2009) "Web 2.0 applications for improving public participation in transport planning", Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Vienna Transport Strategies, Austria, November.

- Nathanail, E. (2008) "Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways", Transportation Research, An International Journal, Part A: Policy and Practice, Vol. 42, No. 1, January, pp. 48-66.

- Nezdah, S. and Damghani, K. K. (2011) "A modified TOPSIS technique in presence of uncertainty and its application to assessment of transportation systems", Management Science and Engineering Management, An International Journal, Vol. 6, No. 1, December, pp. 3–13.

- Niyonsenga, David (2012) "Assessing public transport supply for Kigali, Rwanda", Supervisor: Dr. Amer, S. and Zuidgeest, M. H. P, Master's Thesis, Specialization: Urban Planning and Management, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), Enschede, Netherlands.

- Nurul-Hassan, M., Havas, Y. and Ahmed, K. (2013) "A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance", Transportation Research Part A, Vol. 50, No. 30, April, pp. 47-61.

- Ostermann, F. and Spinsanti, L. (2012) "Context analysis of volunteered geographic information from social media networks to support disaster management: A case study on forest fires", Information Systems for Crisis Response and management, An International Journal, Vol. 4, No. 4, pp. 16-37.

- Polzin, S., Pendyala, R. and Navari, S. (2002) "Development of time-of-day–based transit accessibility analysis tool", Transportation Research Record, No. 1799, December, pp. 35–41.

- Poser, K. and Dransch, D. (2010) "Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation", Geomatica, Vol. 64, No. 1, pp. 89–98.

- Roch, S., Mericskay, B., Batita, W., Bach, M. and Rondeau, M. (2012) "Wiki GIS basic concepts: web 2.0 for geospatial collaboration", Future Internet, Vol. 4, No. 1, March, pp. 265-284.

- Ruitton-Allinieu, Anne-Marthe (2011) "Crowdsourcing of geoinformation: data quality and possible ap-

- Teymurian, F., Alesheikh, A .A., Ali-Mohammadi, A. and Sadeghi-Niaraki, A. (2013) "VGI based urban public transportation", the 2nd. International Conference Sensors and Model in Photogrammetry and Remote sensing (SMPR), Tehran, Iran, 5-8 October 2013.

- Tyrinopoulos, Y. and Aifadopoulou, G. (2008) "A complete methodology for the quality control of passenger services in the public transport business", European Transport \ TrasportiEuropei, Vol. 38, pp. 1-16.

- www.cyclopath.org (2013) "Discover your path".

- Zhong, T., Kae-Young, R. and Scott-Rutherford, G. (2008) "A model for public involvement in transportation improvement programming using participatory geographic information systems", Transportation Research, An International Journal, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 32, No. 2, March, pp. 123-133.

- Zhou, Pengfei, Zheng, Yuanqing and Li, Mo (2012) "How long to wait?: predicting bus arrival time with mobile phone based participatory sensing", Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services, June 25-29, 2012, New York, NY, USA, pp. 379-392.

plications", Supervisor: Virrantaus, K. and Instructor: Ahonen-Rainio, P, Master's Thesis, Aalto University School of Engineering, Department of Surveying, Geoinformatics and Cartography, ENSTA Bretagne, Espoo, Finland.

- Saaty, T. L. and Ozdemir, M. S. (2003) "Why the magic number seven plus or minus two", Mathematical and Computer Modelling, Vol. 38, No. 3, pp. 233-244.

- Shaw, S. L. (2010) "Geographic information systems for transportation: from a static past to a dynamic future", Annals of GIS, Vol. 16, No. 3, November, pp.129-140.

- Shih, H.S., Shyur, H.J. and Lee, E. S. (2007) "An extension of TOPSIS for group decision making", Mathematical and Computer Modelling, Vol. 45, No. 7, pp. 801-813.

- Simone-Noveck, Beth (2009) "Wiki government: how technology can make government better, democracy stronger, and citizens more powerful", England: Brookings Institution Press.

- Soltani, A., Zargari Marandi, E. and Esmaili Ivaki, Y. (2013) "Bus route evaluation using a two-stage hybrid model of Fuzzy AHP and TOPSIS", Transport Literature, Vol. 7, No.3, pp. 34-58.