فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۱۴۳۵-۱۴۱۵
مقاله علمی-پژوهشی

توسعه یک مدل مسیریابی برای مدیریت مناسب ناوگان جمع‌آوری پسماند جامد شهری مبتنی بر Web-based GIS

کیوان باقری، دانشجوی دکتری GIS&RS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
نجمه نیسانی سامانی (مسئول مکاتبات)، دانشیار گروه GIS&RS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
Email: nneysani@ut.ac.ir
محمدرضا جلوخانی نیارکی، دانشیار گروه GIS&RS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
آرا تومانیان، دانشیار گروه GIS&RS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
لیلا حاجی بابایی، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه ایالات کارولینای شمالی، ایالات متحده

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۵

چکیده

اختصاص بیشترین سهم هزینه‌های مدیریت پسماند به بخش جمع‌آوری ازیک سو و ضرورت بهره‌وری عملیاتی این سیستم باکاهش زمان‌های صرف شده از سوی دیگر بهینه‌سازی سیستم جمع‌آوری و حمل را به‌صورت یک اصل در طراحی و مدیریت پسماند مطرح می‌سازد. اهمیت این موضوع ازآن‌جهت است که بهبود اندکی در عملیات جمع‌آوری می‌تواند تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای در صرفه‌جویی هزینه‌های کل داشته باشد. لذا مقاله حاضر باهدف توسعه یک سامانه مدیریتی برای ناوگان جمع‌آوری و حمل‌ونقل مدلی مناسب برای مسیریابی وسایل نقلیه (کامیون) ارائه می‌دهد بگونه ای که هم مسیر مناسب برای هر کامیون جمع‌آوری پسماند و هم برنامه زمانی، مبدأ، مقصد و مسیر حرکت کامیون‌ها مشخص شود. نوآوری اصلی این مقاله، به‌کارگیری سامانه اطلاعات مکانی تحت وب و توسعه مسیریابی بهینه وسایل جمع‌آوری پسماند با تأکید بر پارامترها و ویژگی‌های مکانی می‌باشد. برای به دست آوردن جواب مناسب از مساله مسیریابی وسایل نقلیه با ظرفیت محدود جمع‌آوری پسماند استفاده شد بگونه ای که هم بتواند زمان سفر را کمینه کند و هم پارامترهای ۱- حداکثر کل زمان سفر مجاز و۲- حداکثر مسافت طی شده مجاز وسایل نقلیه به‌عنوان محدودیت‌های مساله نیز رعایت شود. به‌منظور حل این مساله ابتدا داده های میزان حجم پسماند هر سطل زباله، مقدار زمان لازم برای تخلیه کردن هر سطل زباله، جهت حرکت شبکه معابر، ساعات شروع بکار وسایل نقلیه، محدودیت سفر در سرعت مجاز، امپدانس زمان و امپدانس فاصله هر یال، بر روی شبکه معابر در فرمت یک مجموعه داده به عنوان ورودی مدل پیشنهادی ساخته می شود. در ادامه مدل اجرا شده که برای هر کامیون یک مسیر پیشنهاد و در بستر وب این نتایج منتشر شده است. بررسی نتایج حاصل نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی ۱۴٪ زمان، ۲۴٪ مسافت طی شده و ۳۵٪ مصرف سوخت را در مقایسه با وضعیت موجود ناوگان کاهش می‌دهد. همچنین میزان رضایت مندی کاربران از سامانه Web GIS موردبررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از رضایت ۸۹ درصدی کاربران می‌باشد.

واژه های کلیدی: Web-based GIS، WCCVRP، پسماند جامد شهری، ظرفیت محدود، زمان سفر

۱. مقدمه

انسان از دیرباز با مسئله مواد زائد و چگونگی دور کردن آن از محیط زیست خود رو به رو بوده است. افزایش جمعیت کره زمین، مهاجرت به شهرهای بزرگ، تمرکز جمعیت در شهرها، بالا رفتن مدام سطح زندگی، افزایش مصرف شهروندان و تولید فرآورده های مصرفی، تولید انبوه زباله ها را بدنبال داشته است. در حال حاضر در ۵۰ تا ۷۰ درصد مخارج مدیریت زباله، مربوط به جمع آوری و انتقال آن به مراکز دفن پسماند می باشد [Das and Bhattacharyya, 2015; Vu, et al., 2019]. اهمیت این موضوع از آن جهت است که بهبود اندکی در عملیات جمع آوری می تواند تاثیر قابل ملاحظه ای در صرفه جویی هزینه های کل داشته باشد. یکی از مشکلات که در حوزه مدیریت شهری می‌باشد، مدیریت پسماند جامد شهری[1] (MSWM) است. در این زمینه، عوامل مختلفی از قبیل رشد اقتصادی، جمعیت شهروندان (حدود ۹ میلیون نفر) و تراکم آن، مهاجرت‌های عظیم به این شهر، ساخت‌وسازهای وسیع، آلودگی هوا، ترافیک، عدم تناسب امکانات در سطح شهر و نبود یک سامانه مدیریت جامع جمع آوری پسماند تأثیرگذار بوده‌اند [Eskandari Nodeh, et al., 2007; Parvin, S., Kalantari, A. H and Moradi, A. R., 2014; Population and Housing Census, 2016; Report of Tehran Waste Management Organization, Guerrini, 2016; Havukainen, et al., 2017; Carvalho, Romano, Marques and Leardini, Italian Institute of Statistics (ISTAT), 2017; 2013].

طبق آمار سازمان مدیریت پسماند شهر تهران، میزان پسماند جامد شهری[2] تولیدشده شهر تهران در سال ۲۰۰۰، ٤ میلیون تن در روز بوده که این مقدار در سال ۲۰۱۵ به ۷–۸ میلیون تن در روز رسیده است و هزینه جمع‌آوری و دفن آن حدود یک میلیارد و ۲۵۰ میلیون تومان تخمین زده شده است [Report of Tehran Waste Management Organization, 2016]. این افزایش تولید با افزایش دو برابری تعداد وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند همراه بوده است که این موضوع به نحوی روی افزایش آلودگی هوا، آلودگی صوتی، افزایش ترافیک و افزایش میزان مصرف سوخت تأثیر گذار است. از طرفی تعداد دفعات جمع‌آوری پسماند جامد شهری در برخی از محله‌های شهر تهران به دو تا سه بار در روز می‌رسد که این مقدار در میانگین کشورهای جهان ۲ تا ۳ بار در هفته می‌باشد [Eskandari Nodeh, et al., 2007; Report of Tehran Waste Management Organization, 2016]. از اینرو مدیریت صحیح جمع‌آوری پسماند یکی از چالشهای مهم اقتصادی و زیست محیطی شهر تهران می‌باشد.

یکی از مهمترین وظایف سازمان مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماند و انتقال آن به مرکز دفن آن می‌باشد [Henry, Yongsheng, and Jun, 2006]. درواقع این بخش شامل جمع‌آوری پسماند از محل تولید (سطل‌های زباله موجود در درب منازل، فروشگاه‌ها و سازمان‌های اداری–تجاری) و انتقال به محل تخلیه (دفن) آن، بعنوان یکی از اصلی ترین خدمات شهری می‌باشد [Han and Ponce Cueto, 2015]. بخش زیادی از هزینه جمع‌آوری پسماند مربوط به وسایل نقلیه، میزان مسافت طی شده، میزان زمان صرف شده، میزان سوخت مصرف‌شده، هزینه ثابت کامیون (اصطلاک کامیون) و ... می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر حدود ۷۰٪ هزینه MSWM در کشورهای درحال‌توسعه صرف جمع‌آوری پسماند می‌شود [Vu, et al., 2019]. مدیریت ناوگان حمل‌ونقل پسماند شامل تعیین تعداد کامیون‌ها و نوع کامیون‌ها، برنامه زمان‌بندی حرکت کامیون‌ها، مبدأ و مقصد حرکت کامیون و تعیین مسیر مناسب حرکت برای کامیون با توجه به پارامترها/ویژگیهای ظرفیت کامیون حمل زباله، پراکنش سطل‌های زباله و حجم پسماند آن‌ها، میزان مصرف سوخت کامیون، ترافیک، زمان سفر، طول مسیر و... می‌باشد؛ بنابراین جمع‌آوری پسماند جامد شهری و انتقال آن به مراکز دفن، می‌تواند به‌عنوان مسئله مسیریابی وسایل

نقلیه[۳](VRP) شهری یا به‌طور دقیق‌تر VRP شهری[٤] در نظر گرفته شود [Kim, et al., 2015].

مساله VRP عبارت است از " تعیین مسیر بهینه استفاده‌شده توسط M وسایل نقلیه برای ارائه خدمات به n مشتری" [Caric and Gold, 2008]. به دلیل افزایش شهرنشینی در سراسر جهان در سال‌های اخیر موضوعات مرتبط زیادی با VRP تحت عنوان City VRP موردمطالعه قرارگرفته است [Kim, et al., 2015]. بر این اساس City VRP راه‌حل‌های اصلی در لجستیک شهری را فراهم می‌کند [Taniguchi, et al., 2001].

حل مساله MSWM ، با استفاده از اصول لجستیک برگشتی[٥] بسیار متنوع و گسترده است [Bautista, and Pereira, 2006]. روشهای مختلفی برای مسیریابی بر پایه کوتاه‌ترین مسیر توسعه داده شده است [Vu, et al., 2019; Asefia, et al., 2019; Mantzaras & Voudrias ,2017; Bautista, Pereira, 2004; Bianchessi and Righini, 2007; Ghiani, et al., 2005; Ghose, Dikshit and 2007; Alagöz Sharma, 2006; Karadimas, et al., and Kocasoy, 2008; Apaydin and Gonullu, 2007; Bautista, Fernández and Pereira, 2008; Ombuki-berman, Runka and Hanshar, 2007; Santos, et al., 2008; Ustundag and Cevikcan, 2008; Kim, Yang and Lee, 2009].

تحقیقات متنوعی نیز در یافتن محل مناسب برای سطل جمع-آوری و کیسه یا جعبه‌های دفع زباله تمرکز داشته اند [Archetti, Speranza, 2005; Sniezek and Bodin, 2006; Karadimas, et al., 2007; McLeod and Cherrett, 2008; Sumathi, Natesan and Sarkar, 2008] و مطالعات دیگر در به حداقل رساندن تعداد وسایل نقلیه جمع‌آوری موردنیاز برای سیستم برداشت متمرکز بوده اند [Asefia, et al., 2019; Aringhieri, et al., 2004; Arribas, Blazquez, 2010]. بایانگ[٦] در سال ۲۰۰۵ جمع-آوری زباله را در قالب مسائل مسیریابی وسایل نقلیه بررسی کرد. هدف وی کمینه کردن تعداد وسایل نقلیه و زمان سفر بود.

باوتیستا[۷] در سال ۲۰۰۸ رویکردی را برای جمع‌آوری پسماند شهری با استفاده از الگوریتم های ابتکاری ارائه داد [Bautista, Fernández, and Pereira, 2008].

در مطالعات انجام‌شده بالا کمتر به بعد مکانی داده‌ها توجه شده است. درصورتی‌که نشان داده شده، استفاده از داده‌های مکان‌مبنا، در مسائلی مانند مسائل مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند، برای رسیدن به نتیجه بهتر مفید می‌باشد.

مشکل عمده در مطالعات انجام شده ی بالا، توجه کمتر به بعد مکانی پارامترها/ویژگیهای مورد نیاز برای حل مسئله می باشد و این پارامترها/ویژگیها بیشتر در قالب ویژگی های توصیفی (ظرفیت وسیله، حجم پسماند و ...) محدود شده اند. حال آنکه بکارگیری پارامترها/ویژگیهای مکان‌مبنا مدل واقعیتری از وضعیت موجود فراهم می کند[Santos, Coutinho-Rodrigues, and Antunes, 2011; Santos, Coutinho-Rodrigues, and Current, 2008; Galindo, Gonzalez, and Fernádez- Madrigal, 2010; Jakimavičius, and Mačerinskiene, 2006; Arampatzis, et al., 2004; Brown, 2002]. درواقع GIS به کاربر یک مسیر مناسب با توجه به شرایط موجود و متناسب با کاربرد و هدف مساله و همچنین با محاسبه هزینه پارامترها/ویژگی های مکانی و توصیفی و متغیرهای مساله، ارائه می‌دهد [Jakimavičius, and Mačerinskiene, 2006].

به‌عبارت‌دیگر بجای فاصله بین دو مکان، هزینه که توسط وسیله نقلیه بین دو مکان صرف می‌شود، در نظر گفته می‌شود.

نکته مهم افزایش پیچیدگی مساله مسیریابی وسایل نقلیه جمع-آوری پسماند[٨] (WCVRP) با افزودن پارامترهای مکانی – زمانی مانند حداکثر مسافت طی شده، حداکثر زمان سفر و ترافیک با پارامترها/ویژگی های لجستیک مانند انواع وسایل نقلیه، تعداد مراکز دفن (یک یا چند)، تعداد و پراکنش سطل‌های زباله و محدودیت‌های مختلفی مانند حداکثر مسافت طی شده مجاز، حداکثر زمان سفر مجاز، ظرفیت کامیون مبنی بر خدمات-دهی به مشتریان دارد [Han and Ponce Cueto, 2015]؛

که خیلی از این محدودیت‌ها پویا می‌باشند و با گذر زمان تغییر می‌کنند. لذا برای یک ایجاد مساله مسیریابی وسایل نقلیه با ظرفیت محدود جمع‌آوری پسماند[10] (WCCVRP) مناسب، نیاز به یک سیستم آنلاین و به‌روز می‌باشد تا با توجه به شرایط موجود (لحظه شروع جمع‌آوری پسماند) بتواند مسیر مناسب را انتخاب و به راننده وسیله نقلیه معرفی کند.

نوآوری تحقیق حاضر ارائه یک سامانه مبتنی بر وب و یک مدل مناسب مسیریابی با حداقل کردن زمان سفر برای ناوگان جمع-آوری و حمل‌ونقل پسماند جامد شهری تهران، بر پایه داده‌های مکانی و فناوری مبتنی بر GIS می‌باشد تا کاربران (راننده و ...) به‌صورت برخط بتوانند مبدأ و مقصد حرکت، مسیرهای معرفی شده، میزان ترافیک، میزان مصرف سوخت، میزان زمان سفر، میزان مسیر پیموده شده را در هر لحظه ملاحظه نمایند.

به منظور تشریح متدولوژی تحقیق، بخش دوم به معرفی داده‌ها و روش تحقیق پیشنهادی می پردازد که در آن ویژگی‌های منطقه موردمطالعه، توضیحاتی درباره مدل پیشنهادی تحقیق یعنی WCCVRP و مفاهیم مورد استفاده در طراحی WebGIS توضیح داده می شود. بخش سوم شامل تعیین پارامترها/ویژگی ها و متغیرهای مکانی متناسب با WCCVRP پیشنهادی و پیاده‌سازی الگوریتم و ارزیابی مدل مسیریابی و سامانه وب می‌شود. در بخش چهارم نتیجه‌گیری و بحث ارائه می گردد.

۲. داده و روش تحقیق

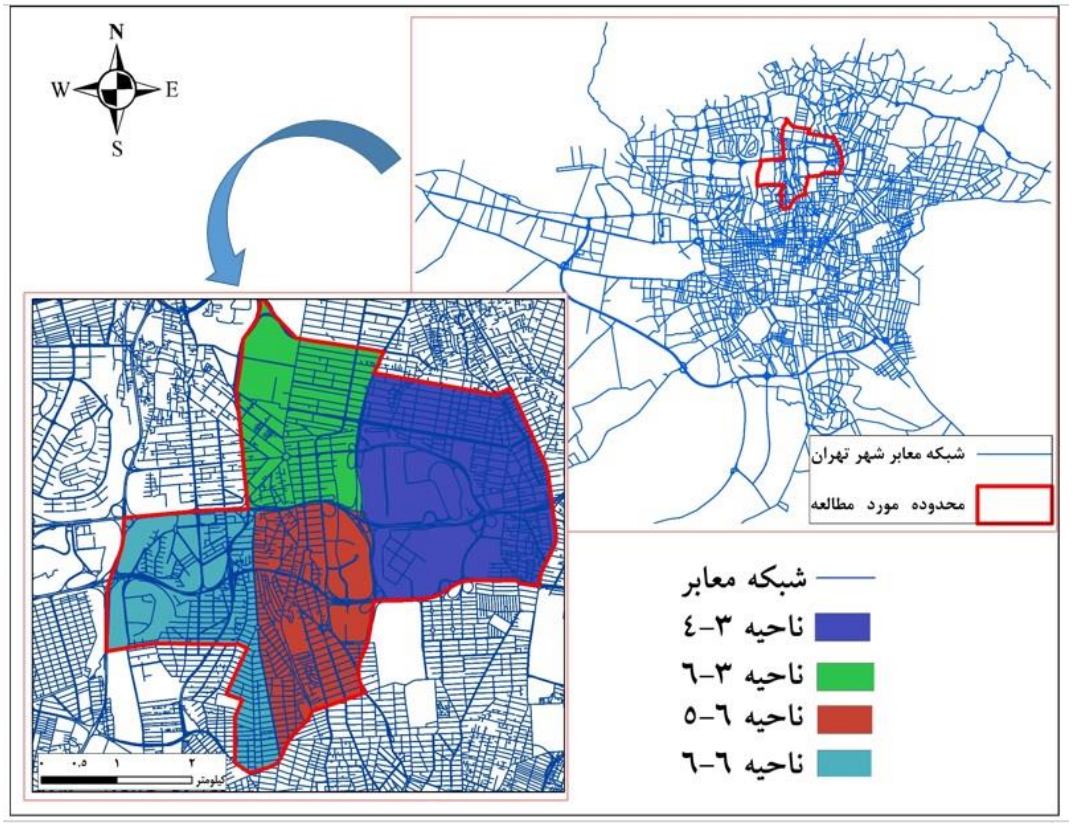
در این بخش ابتدا توضیحاتی درباره محدوده موردمطالعه داده می‌شود. در ادامه در مورد مدل پیشنهادی مساله WCCVRP بحث می شود و سپس مفاهیم بکارگیری شده در حوزه WebGIS ارائه می شود در بخش آخر مراحل اجرای کار شرح داده می شود.

۲-۱ محدوده موردمطالعه

منطقه موردمطالعه شامل ناحیه‌های ٤ و ٦ از منطقه ٣ و ناحیه‌های ٥ و ٦ از منطقه ٦ شهر تهران می‌باشد که در حوضه ایستگاه میانی جمع‌آوری پسماند بیهقی می‌باشد (شکل ۱). میزان جمعیت محدوده موردمطالعه ۱٦۰ هزار نفر می‌باشد [Population and Housing Census, 2016]. همچنین میانگین پسماند تولیدی ۱۸۰-۱۹۰ تن در روز (در ٢٤ ساعت) می‌باشد [Report of Tehran Waste Management Organization, 2016]. از طرفی دیگر محدوده موردمطالعه جز مرکز شهر با ترافیک بالا، دارای چند فروشگاه زنجیره‌ای خیلی بزرگ و بزرگ‌راه‌های و خیابان‌های درجه یک می‌باشد.

۲-۲ مدل پیشنهادی مساله مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند (WCCVRP)

اجزای اصلی و پایه‌ای VRP عبارت‌اند از شبکه معابر، سطل زباله، انبار و وسایل نقلیه جمع‌آوری زباله[Greco, et al., 2015]. در عمل، محدودیت‌ها و شرایط مختلفی می‌تواند بر هر یک از این اجزای اصلی تحمیل شود که هر یک از آن‌ها منجر به ایجاد نوع خاصی از VRP می‌شود [Huang, et al.,2017]. در این مساله هر وسیله دارای ظرفیت مشخصی بوده که از پیش تعیین‌شده است و بارگیری وسیله بیش‌تر از آن حد مشخص مجاز نمی‌باشد [Han and Ponce Cueto, 2015]. در واقع داری ظرفیت محدود می‌باشد از طرفی در مساله جمع‌آوری پسماند ممکن است ناوگان غیریکنواخت باشد. یعنی یک ناوگان ثابت غیریکنواخت با تعداد ثابتی از هر نوع ماشین، با هزینه و ظرفیت‌های متفاوت برای هر یک وجود دارد. هر یک از کامیون‌های مستقر در ناوگان موظف هستند از یک ایستگاه ابتدایی شروع به حرکت کرده و به جمع‌آوری پسماندی سطل زباله در طول مسیر حرکت بپردازند و پس از به حداکثر رسیدن ظرفیت خود به ایستگاه ابتدایی برگردند. به‌عبارت‌دیگر WCCVRP می‌تواند تابع هدف و محدودیت-های مساله جمع‌آوری پسماند جامد شهری را به‌خوبی پوشش دهد.



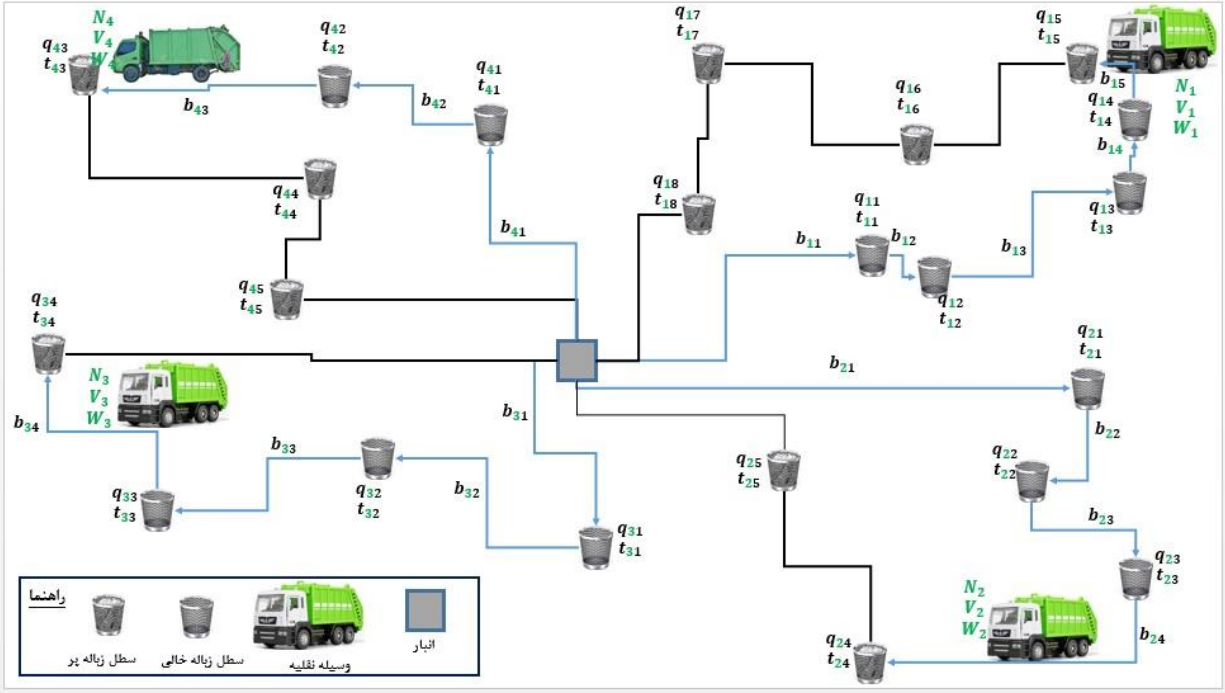
شکل ۱. نقشه محدوده موردمطالعه: ناحیه‌های ٤ و ٦ منطقه ۳ و ناحیه‌های ٥ و ٦ منطقه ٦

در مدل پیشنهادی علاوه به ویژگی های توصیفی (ظرفیت وسیله، حجم پسماند و ...) به پارامترهای مکانی هم توجه ویژه شده است. از طرفی دیگر جون مساله با افزودن پارامترهای مکانی – زمانی پیچیده تر می شود که این پارامترها شامل حداکثر مسافت طی شده، حداکثر زمان سفر و ترافیک با پارامترها/ویژگی های لجستیک مانند انواع وسایل نقلیه، تعداد و پراکنش سطل‌های زباله و محدودیت‌های مختلفی مانند حداکثر مسافت طی شده مجاز، حداکثر زمان سفر مجاز، ظرفیت کامیون مبنی بر خدمات‌دهی به مشتریان دارد.

مساله می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود. فرض می‌کنیم که $G(D,A)$ یک گراف کامل است که $D=\{1,2,\ldots,N\}$ مجموعه گره (سطل های زباله) می‌باشد و A مجموعه یال‌ها (شبکه معابر) است.

مفروضات مساله به این شرح می‌باشد: (۱) زمان در دسترس محدود است (زمان سفر)، (۲) تعداد و موقعیت سطل زباله (تعداد گره در شبکه راه) موجود و ظرفیت هر یک مشخص است. (۳) میانگین زمان سرویس برای هر سطل زباله (گره یا مشتری) مشخص است. (٤) ظرفیت هر نوع کامیون جمع‌آوری پسماند مشخص و ثابت است. (٥) هزینه برای هر نوع مقداری ثابت است. (٦) مسیرهای مجاز (زیرمجموعه‌ای از یال‌های شبکه معابر) موجود است. (۷) تعداد کامیون‌های جمع‌آوری پسماند در دسترس مشخص است. (۸) فواصل سطل زباله‌ها و محل تخلیه پسماند (ایستگاه) مشخص می‌باشد. (۹) هر سطل زباله فقط توسط یک ماشین سرویس‌دهی می‌شود. (۱۰) نقطه شروع و پایان هر ماشین از یک ایستگاه می باشد. (۱۱) مجموع تقاضا برای هر ماشین نباید از ظرفیتش تجاوز کند. (۱۲) سرعت برای وسایل نقلیه بستگی به طول جاده و ترافیک آن دارد. (۱۳) هزینه هر واحد زمانی کارکرد از هر نوع ماشین مشخص است. (١٤) میانگین زمان جهت تخلیه در ایستگاه مشخص می‌باشد. (۱٥) ناوگان غیریکنواخت بوده و ۳ نوع ماشین کوچک (سبک)

و بزرگ (سنگین) و متوسط (نیمه سنگین) در ناوگان مستقر هستند که هزینه برای هر نوع ثابت است. (۱۶) در طول زمان در دسترس، کلیه مخازن می‌بایست تخلیه شوند. (۱۷) شرایط ترافیک راه‌ها و سرعت مجاز با توجه به شرایط و زمان جمع-آوری متفاوت می‌باشد.



شکل ۲. یک طرح‌واره از پروسه WCCVRP (منبع: نگارندگان)

هدف WCCVRP کمینه کردن هزینه جمع‌آوری پسماند جامد شهری براساس زمان سفر وسایل نقلیه می‌باشد. لازم به ذکر است که دو پارامتر ۱- زمان کل سفر مجاز و ۲- کل مسافت پیموده شده‌ی مجاز برای هر وسیله نقلیه عامل‌های محدودکننده مساله می‌باشند (روابط ۱و۲) که با توجه به شرایط مساله و نظر کارشناسان مربوطه برای هرکدام یک آستانه‌ای مشخص می شود. در واقع اعمال این محدودیت ها به مساله به منظور رعایت حجم کاری بین وسایل نقلیه می باشد.

WCCVRP پارامترها و ویژگی هایی مانند ظرفیت کامیون، نوع کامیون، میزان حجم پسماند هر سطل زباله، میزان زمانی که برای تخلیه کردن هر سطل زباله، جهت حرکت معابر (یک و دو طرفه بودن)، حداکثر سرعت مجاز در معابر، ترافیک معابر، ساعات شروع بکار وسایل نقلیه، محدودیت سفر در مناطق، امپدانس زمان، امپدانس فاصله برای اجرای WCCVRP را در نظر می‌گیرد (شکل ۲). لازم به ذکر است که برای حل WCCVRP از الگوریتم دایجسترا استفاده شده است.

$$W_j = \sum_{i=1}^{k} d_{ij} \le D_j \rightarrow j = 1,...,n; k \le O; \qquad (۱)$$

$$V_j = \sum_{i=1}^{k} t_{ij} + b_{ij} \le T_j \rightarrow j = 1,...,n; k \le O; \qquad (۲)$$

که O ماکزیمم کل سطل‌های زباله سرویسی دهی شده توسط هر کامیون، Dij مسافت طی شده بین سطل زباله i تا j توسط کامیون، Tij زمان طی شده بین سطل زباله i تا j توسط کامیون، bij زمان سفر کامیون i در یالی j، N تعداد وسایل نقلیه، Dj ماکزیمم مجاز مسافت طی شده توسط کامیون j، Tj ماکزیمم مجاز زمان طی شده توسط کامیون می باشد.

تخمین زمان سفر در لبه‌ها، یک اندازه‌گیری مؤثر از وضعیت ترافیک خیابان‌ها است که یک امری ضروری در مسافرت و

سازمان‌های حمل‌ونقل، به‌ویژه در شرایط اضطراری می‌باشد. در این تحقیق برای محاسبه زمان سفر در لبه‌ها (b_k) از رابطه (۳) معرفی‌شده توسط استفاده شد (Wang, 2013).

$$b_k = \frac{L_k}{V_e}\left[1+1.96\left(\frac{V_k{}^2 L_k - \Delta t_k N_k{}^2 \nu_k}{V_k L_k C_k}\right)^{1.59}\right] \qquad (۳)$$

که در آن b_k زمان سفر در بخش k، Lk طول بخش k، Vk حجم فعلی بخش k، Nk تعداد باند در بخش k، ν_k متوسط سرعت سفر برای یک وسیله نقلیه نرمال در بخش k، Ck ظرفیت بخش k، Ve سرعت وسیله نقلیه موردنظر، Δt_k زمان ترخیص از بخش k. لازم به ذکر است پارامتر ضریب نفوذ باند خالی در رابطه بالا در نظر گرفته نشده است. برای پارامترهای ذکرشده در رابطه (۳) یک فیلد ساخته شد و برای هر لبه، مقدار هر پارامتر و درنهایت زمان سفر هر لبه محاسبه شد.

۲-۲-۱ تخمین زمان سفر بر یال‌ها

تخمین زمان سفر بر یال‌ها، یک اندازه‌گیری مؤثر از وضعیت ترافیک خیابان‌ها است که یک امری ضروری در سفر و سازمان‌های حمل‌ونقل می‌باشد.

در این تحقیق برای محاسبه زمان سفر بر یال‌ها از طول و عرض یال، آمار تاریخی ترافیک یال و همچنین آمار لحظه ای ترافیک هر یال استفاده می شود. در واقع طول و عرض یال جزئی از ویژگی های هندسی یال می باشند که تاثیرگذار برزمان سفر هستند. از طرفی می توان ادعا کرد که ترافیک دوره ای می باشد مثلا هم دوره ترافیک روزانه، هم هفتگی، ماهانه و حتی فصلی وجود دارد. همچنین ترافیک یک متغیر پیوسته می باشد یعنی می‌توان با کمی اغماض آن را به بازه های زمانی مساوی در طول روز تقسیم کرد و مقدار ترافیک هر یال را بر حسب آن بررسی کرد و در نهایت آن را به عنوان وزن یال محاسبه کرد [Wu, ; Saberian, 2014 et al., 2007]. این داده ها از سازمان حمل و نقل و ترافیک اخذ شده که زمان به صورت ساعتی تقسیم بندی شده است. حال اگر ترافیک آنلاین با داده های تاریخی که در دست داریم تفاوت چندانی نداشته باشد از همان داده تاریخی برای آن یال و آن بازه زمانی استفاده می شود. ولی اگر این دوتا تفاوت قابل ملاحظه ای داشته باشند با استفاده از طول و عرض یال و ترافیک لحظه ای ضریبی برای ترافیک تاریخی بدست می آوریم و از آن استفاده می کنیم.

۲-۳ سامانه اطلاعات مکانی تحت وب WCCVRP

فن‌آوری‌های وب فرصت‌های جدیدی را برای استفاده از GIS-WCCVRP ایجاد کرده است، طوری که پارادایم فرایند برنامه‌ریزی پویا را از یک مکان بسته (زمان و مکان ثابت) به فرآیند همگام، غیر همگام، توزیع یافته و فرایند تصمیم گیری فعال تبدیل کرده است فضا و زمان توزیع شده محیط وب، نه‌تنها انعطاف‌پذیری استفاده از GIS-WCCVRP را در فضا و زمان های مختلف برای راحتی افراد فراهم می‌آورد، بلکه دسترسی بهتر به اطلاعات مکانی و مزایای استفاده از آن را نیز فراهم می‌آورد. در هر زمان (۲٤ ساعت شبانه‌روز، هفت روز هفته) و از طریق هر رایانه‌ای یا دستگاه‌های دستی (مانند PDA، تلفن‌های هوشمند) و در هر مکان (هر مکان که دارای دسترسی به اینترنت است) دسترسی به داده‌های GIS-WCCVRP مربوطه و شبکه‌ها (فن‌آوری‌های سیمی یا بی‌سیم) به‌طور چشمگیری سطح مشارکت جامعه در برنامه‌ریزی فضایی را افزایش داده‌اند [Jelokhani-Niaraki, 2013].

به‌عبارت‌دیگر انتشار وسیع اینترنت و فن‌آوری‌های جدید نرم‌افزاری، همراه با ورود محصولات سخت‌افزاری، کارآمد و ارزان در بازار، به ایجاد سیستم‌های یکپارچه کارآمد، همچنین قادر به رعایت الزامات در چرخه MSWM می‌باشد. در طی سال‌های اخیر، برخی از مطالعات موردی در دسترس بوده و نشان داده شده است که چگونگی پذیرش فن‌آوری‌های یکپارچه جدید ICT (فناوری اطلاعات و ارتباطات) فعال‌سازی فرآیندهای بهینه‌سازی را فعال کرده است [Rada, Ragazzi, and Fedrizzi, 2013].

اکنون معماری سرویس‌گرا الگوی اصلی توسعه‌ی برنامه‌های کاربردی GIS محسوب می‌گردد؛ و توسعه‌دهندگان و محققین به توسعه برنامه‌های کاربردی بر روی وب با استفاده از فناوری تمامی جزئیات اکنون معماری سرویس‌گرا الگوی اصلی توسعه‌ی برنامه‌های کاربردی GIS محسوب می‌گردد؛ و توسعه‌دهندگان و محققین به توسعه برنامه‌های کاربردی بر روی وب با استفاده از فناوری تمامی جزئیات پیاده‌سازی از دید کاربر مخفی بوده و تنها به یک مرورگر وب نیاز دارد [Delipetrev, Jonoski, and Solomatine, 2014].

۲-٤ آماده سازی دادهای مورد استفاده و پیاده سازی

در شکل (۳) فلوچارت متدولوژی تحقیق ارائه شده است. ابتدا با بازدید میدانی و با استفاده از GPS مکان هر سطل زباله تعیین و ویژگی‌های آن (مقدار زباله‌ای که در فاصله بین دو جمع‌آوری در آن قرار می‌گیرد) ثبت‌شده است (نگارندگان). در ادامه یک پایگاه داده مکانی هم برای خطوط معابر (آزادراه، بزرگ‌راه، شریان‌های درجه یک و دو، خیابان و ...) و ویژگی‌های آن (از سازمان حمل‌ونقل و ترافیک اخذ شده است) و هم برای نقاط سطل زباله تشکیل داده شد. به‌منظور اصلاح خطاهای مکانی ارتباطی و پیوستگی مثلاً نرسیدن دو خط جاده به هم و یا قرار نگرفتن سطل زباله‌ها رو خطوط معابر، تمام زیرشاخه‌های آن در محیط GIS با استفاده از اصول توپولوژی (قوانین جدول ۱) اصلاح شدند. مرحله بعدی لینک کردن ویژگی‌های غیر مکانی به داده‌های مکانی می‌باشد مثلاً داده‌های ترافیکی ازجمله سرعت مجاز هر لاین، پهنای معابر، یک‌طرفه یا دوطرفه بودن معابر و ... روی شبکه معابر اعمال شدند و همچنین میزان پسماند موجود در هر سطل زباله که به‌طور میانگین در شبانه‌روز وجود دارد، تخمین زده شد، این کار از تجربه افرادی (رفته‌گران شهرداری و راننده‌گان) که مستقیماً سطل‌های زباله را تخلیه می‌کردند، استفاده شد. در ادامه الگوریتم مسیریابی اجرا و ارزیابی می شود و در نهایت نتایج تحت وب نمایش داده شد.

جدول ۱. قوانین بکار رفته برای اصلاح خطاهای توپولوژی

قانون
Major_Roads نباید با Streets همپوشانی داشته باشند
Minor _Roads نباید با Streets همپوشانی داشته باشند
Minor_Roads و Major_Roads و Streets نباید رد شدگی داشته باشند
Minor_Roads و Major_Roads باهم هم‌پوشانی داشته باشند
Major _Roads نباید همپوشانی داشته باشند
Minor_Roads نباید همپوشانی داشته باشند
سطل زباله‌ها نباید غیر متصل باشند
Streets نباید همپوشانی داشته باشند

۲-۵ ساخت شبکه مجموعه داده[11] برای WCCVRP

شبکه مجموعه داده، مجموعه‌ای از خطوط و نقاط می‌باشد که ویژگی‌های نقطه و خط را ذخیره می‌کند این ویژگی ها با استفاده از توابع مربوط به اتصال[9] و شبکه خطی در نرم‌افزار ARC GIS اجرا می شود. در این تحقیق به‌منظور حل WCCVRP، یک مجموعه داده ساخته می‌شود طوری که کل ویژگی‌های موردنیاز برای حل مساله مذکور در آن ذخیره شود. لازم به ذکر است که در این تحقیق سطل‌های زباله (نقاط) به نزدیک‌ترین معابر (خطوط) از لحاظ فاصله اقلیدسی مرتبط می‌شوند. برای ویژگی‌های شبکه سه نوع ویژگی "زمان سفر"، "فاصله سفر"، "جهت حرکت معابر" ایجاد شدند که اولی از نوع هزینه[12] و دومی و سومی از نوع محدودیت[13] می‌باشد. کامیون‌های جمع-آوری پسماند از یک محل خارج و به همان محل برای تخلیه بار برمی‌گردند که این محل ایستگاه میانی جمع‌آوری پسماند بیهقی نام دارد.

۳. یافته های تحقیق

بعد از ساخت شبکه مجموعه داده لایه های مورد نیاز ساخته شدند که شکل ٤ بعضی از این لایه ها نشان می دهد.

در ادامه برای اجرای WCCVRP، داده‌های مکانی مرحله قبل و داده های توصیفی (تعداد کامیون، نوع کامیون، ظرفیت کامیون،

میزان مصرف سوخت هر کامیون، هزینه ثابت هر کامیون، نام راننده و...) به‌عنوان ورودی الگوریتم تنظیم شدند. جدول (۲) مشخصات پارامترها/ویژگی های ذکرشده در برای مسیریابی کامیون‌های جمع‌آوری پسماند با توجه به محدوده موردمطالعه را نشان می‌دهد. این اطلاعات از سازمان مدیریت پسماند شهر تهران اخذشده است. لازم به ذکر است برای تخصیص فضا و خوشه‌بندی از تقسیمات سازمان مدیریت پسماند استفاده‌شده است که برای هر منطقه دو کامیون جمع‌آوری پسماند تخصیص داده است (شکل ۵).

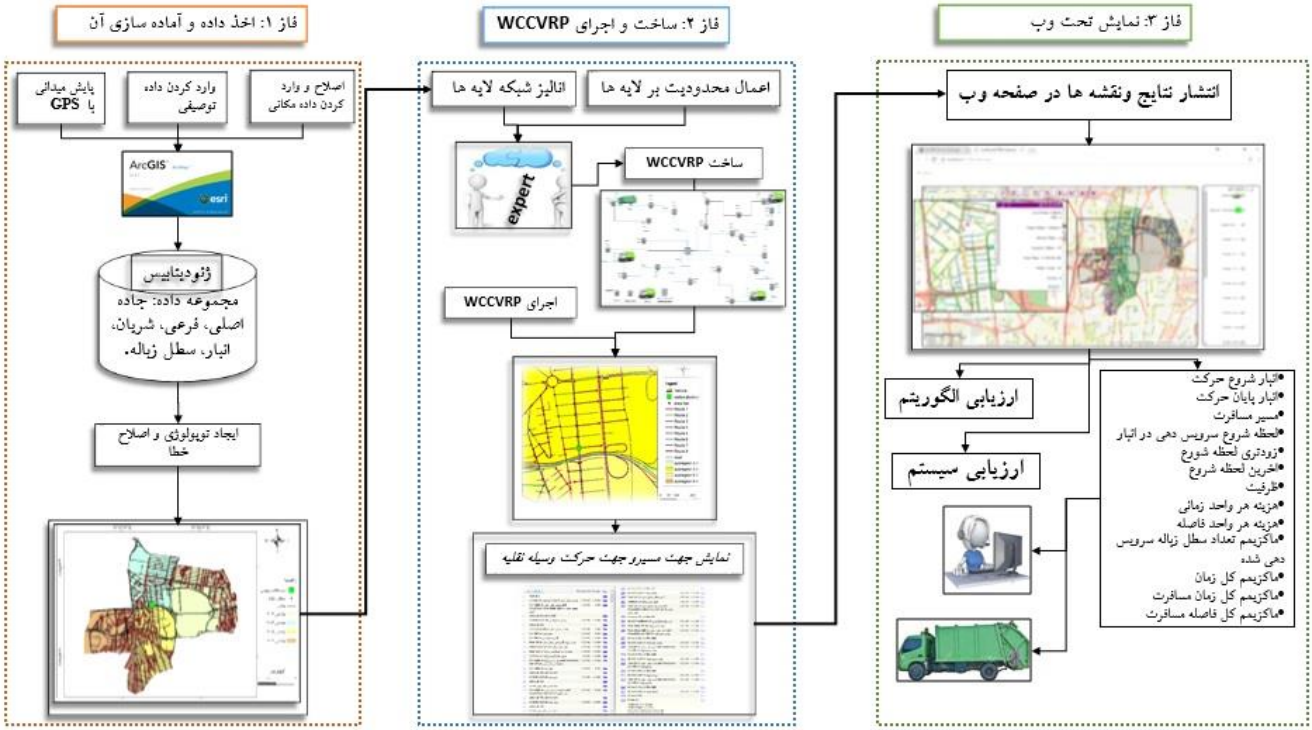
در ادامه برای هر مسیر، با توجه به تعداد کامیون‌ها و ویژگی‌های آن‌ها، پارامترهای مربوطه تنظیم شد. یک نمونه از آن برای مسیر شماره یک در جدول ۳ آورده شده است. مرحله بعدی تعیین تابع هزینه می‌باشد که در جدول ۳ ضرایب هزینه آن تعیین‌شده است. در ادامه ضریب هزینه هر واحد زمانی در مدت‌زمان طی شده، ضرب می‌شود و بعد از تعیین این پارامترها برای هر کامیون و مسیر و اجرای مدل نتایج آن به‌صورت شکل ۵ می‌باشد. هر مسیر برای یک کامیون با ویژگی‌های مشخص تعیین‌شده است. شکل ٦، جهت و زمان و نقشه مسیری که کامیون شماره ۱ پیموده است را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که الگوریتم WCCVRP در محیط ArcGIS اجرا شد، در ادامه جهت نمایش اطلاعات مکانی برنامه‌ای تحت وب و مبتنی بر نرم‌افزار ArcGIS Server به‌عنوان خادم نقشه جهت نمایش اطلاعات مکانی در محیط وب، پیاده‌سازی شد. در این برنامه از زبان برنامه‌نویسی c# برای پیاده‌سازی Backend و برای واسط کاربری وب، از تکنولوژیASP.NET و زبان‌های HTML و CSS و JAVASCRIPT و از کتابخانه‌ی ESRI JAVASCRIPT استفاده شده است. شکل ۷ نتیجه نهایی مسیریابی تحت وب را نمایش می‌دهد. در این نمایش هم راننده‌های کامیون‌های جمع‌آوری پسماند و هم کارکنان سازمان-های مربوطه قادر به دیدن مسیر و ویژگی‌های آن و همچنین وضعیت و موقعیت کامیون می‌باشند.

قبل از اینکه به مباحث تحلیل حساسیت، دقت و صحت مدل پرداخته شود. همانطور که در جدول ٤ میزان برآورد شده پارامترهای الگوریتم پیشنهادی بعد از اجرا برای مسیرهای انتخابی مشخص‌شده است. مقدار پارامترهای هر مسیر بین مقدارهای تعیین‌شده در قسمت محدودیت‌های تحقیق (جدول ۳) می‌باشد. هر کامیون در مسیر مشخص‌شده تقریباً برابر کل ظرفیتش پسماند جمع‌آوری کرده و حداقل تعداد سطل زباله، حداکثر مسافت طی شده مجاز و حداکثر زمان تعیین‌شده هم رعایت شده است.

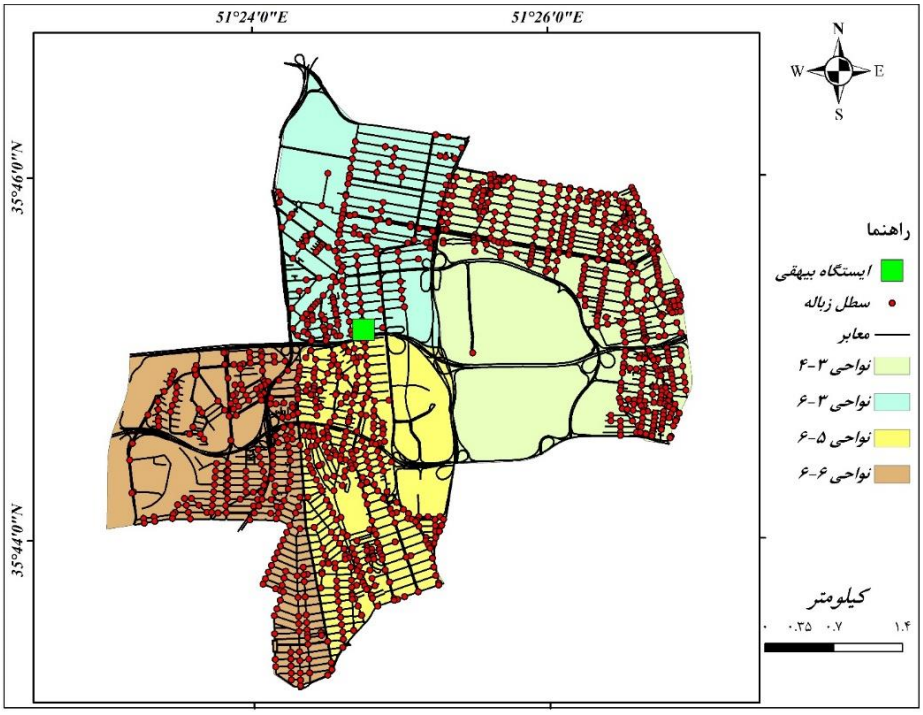
در بررسی تحلیل حساسیت، چندین مرتبه با تغییر دادن ارزش و دامنه پارامترها ورودی مدل، جواب‌ها متناسب با این تغییرات هم تغییر کرد.

برای مطمئن بودن از دقت نتیجه، الگوریتم چند مرتبه دیگر اجرا شد. مقایسه نتایج هر در تکرارهای مختلف نشان می‌دهد جواب تقریبا یکسان هستند که این موضوع حاکی از دقت مدل پیشنهادی می باشد.

برای بررسی و صحت نتایج در ادامه بخشی تحت عوان ارزیابی مدل بحث شده است:



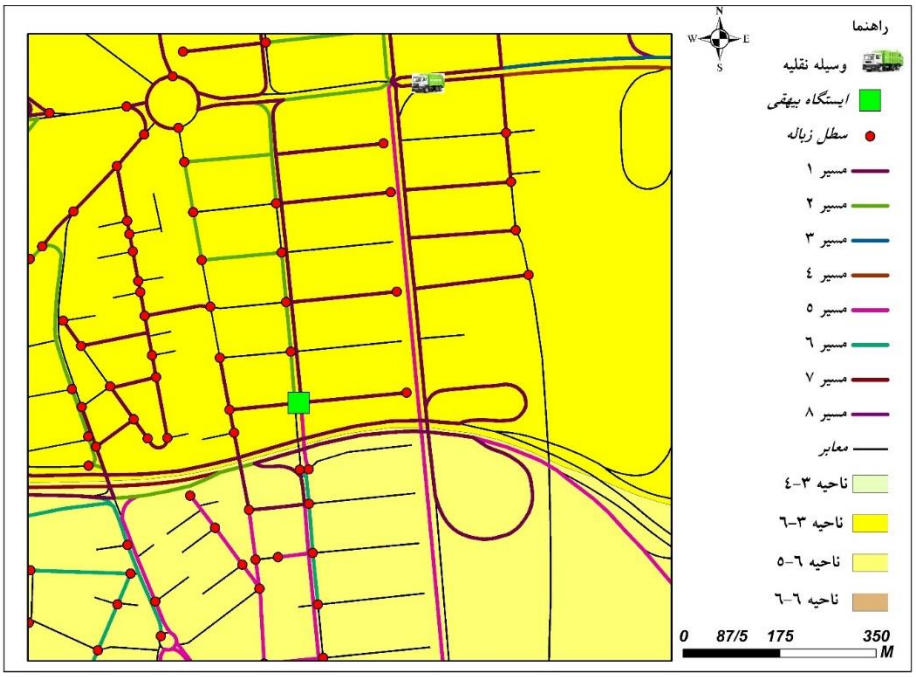
شکل ۳. فلوچارت اجرای مراحل روش تحقیق پیشنهادی



شکل ٤. نمایش لایه‌های مورداستفاده در ژئودیتابیس محدوده موردمطالعه

جدول ۲. بررسی و بیان محدودیت‌های پارامترها/ویژگی های استفاده شده در مدل پیشنهادی (WCCVRP)

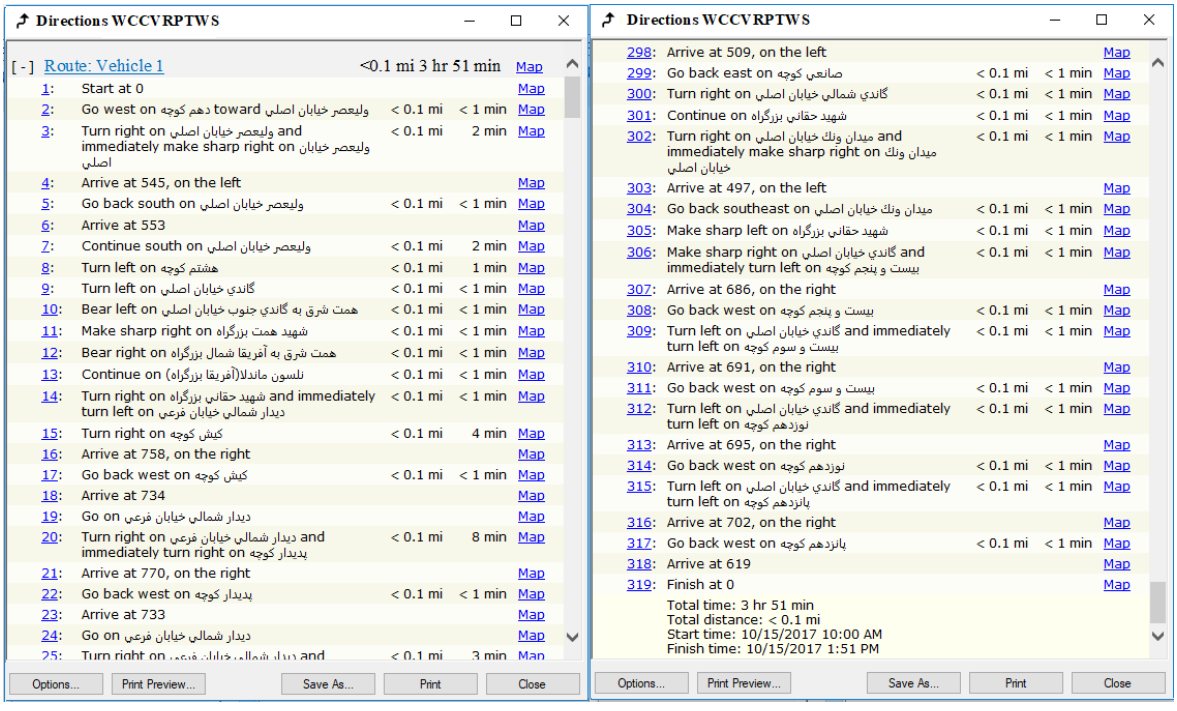
پارامتر/ویژگی	تشریح	محدودیت
انبار [۱۴]	ایستگاه بیهقی	نقطه شروع و پایان هر وسیله نقلیه
تعداد کامیون‌ها	کامیون ۱ تا ۸	ظرفیت کامیون‌ها از ۱۲ تا ۱۸ مترمکعب متغیر می‌باشد.
زمان شروع به حرکت کامیون	دو بار در شبانه‌روز	ساعات ۹ تا ۲۰ و ۲۰ تا ٦ صبح
زمان برگشت به انبار کامیون		٦ تا ۸ ساعت با توجه به شرایط جوی، کامیون و ...
زمانی که طول می‌کشد سطل زباله سرویس‌دهی شود	زمانی که طول می‌کشد تا هر سطل زباله خالی شود	از ۰ تا ۵ دقیقه بسته به میزان حجم زباله هر سطل
ماکزیمم کل مسافت طی شده مجاز	ماکزیمم مسافتی که هر کامیون در سفر می‌تواند طی کند	۷۰ کیلومتر
ماکزیمم تعداد سطل زباله‌های سرویس‌دهی شده	حداکثر تعداد سطل زباله‌ای که هر کامیون می‌تواند سرویس‌دهی کند.	متغیر از بین ۱۰۰ تا ۱۵۰
ناحیه تعیین شده جمع‌آوری برای کامیون	این نواحی توسط سازمان مدیریت پسماند تعیین شده‌اند	در هر ناحیه دو کامیون مسئول جمع‌آوری پسماند است
زمان سپری شده برای طی شدن مسافت بین دو سطل زباله متوالی	با یک رابطه خطی جبری مدت زمان بین دو سطل زباله محاسبه می‌شود	پارامترهای موثری مانند طول یال حجم ترافیک، عرض جاده



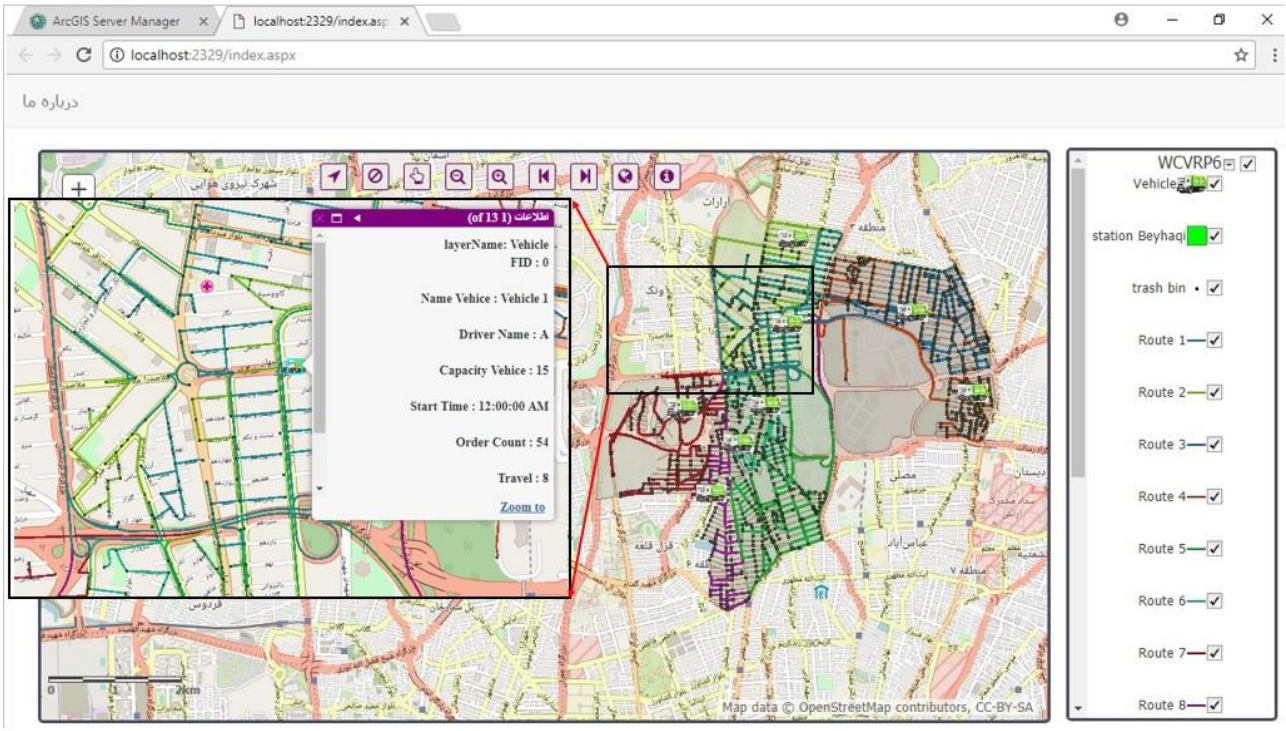
شکل ۵. نمایش قسمتی (زوم/بزرگ شده) از محدوده موردمطالعه از نتایج الگوریتم WCCVRP

جدول ۳. ویژگی‌های تعیین‌شده برای مسیر کامیون شماره ۱

ویژگی	مقدار	توضیحات
نام	کامیون شماره ۱	نام کامیون جمع‌آوری‌کننده زباله
نقطه شروع	ایستگاه بیهقی	نقطه شروع کامیون در انبار مرکزی
نقطه پایان	ایستگاه بیهقی	نقطه پایان کامیون در انبار مرکزی بعد از جمع‌آوری زباله
زمان نقطه شروع	٦٠	زمان (در این مورد دقیقه) موردنیاز تا کامیون کاملاً آماده بارگیری شود
زودترین زمان شروع	۸ صبح	کامیون می‌تواند به‌محض اینکه درب انبار در ساعت ۸ صبح باز شد شروع بکار کند
دیرترین زمان شروع	۹ بعدازظهر	کامیون باید تا این لحظه شروع به کارکرده باشد.
ظرفیت	۱۵	حداکثر ظرفیت کامیون ۱۵ مترمکعب می‌باشد.
هزینه هر واحد زمانی	۰/۲۵	۱۵ دلار برای هر ساعت کامیون در حال کار هزینه می‌شود
هزینه هر واحد فاصله	۱/۵	میانگین مقدار دلارهای هزینه شده در هر مایل برای سوخت، استهلاک و تعمیر و نگهداری
بیشترین تعداد مشتری‌ها	۱۵۰	ماکزیمم تعداد سطل زباله‌هایی هر کامیون می‌تواند سرویس‌دهی کند.
ماکزیمم زمان سفر	٤٨٠	حداکثر زمانی (۸ ساعت) که یک کامیون در شیفت کاری می‌تواند کار کند.
ماکزیمم کل زمان سفر	٣٦٠	به‌منظور ایمنی در محدودیت‌های کاری روزانه و همچنین توانایی معقول برای سرویس‌دهی به سطل‌های زباله، کامیون نباید بیش از ٦ ساعت در خیابان‌ها باشد.
ماکزیمم کل مسافت طی شده مجاز	۸۰	به‌منظور تعادل روزانه بین هزینه سوخت و تعمیر و نگه‌داری ناوگان هر کامیون نباید بیش از ۸۰ مایل در روز حرکت کند.



شکل ٦. جهت مسیر حرکت مسیر کامیون شماره ۱



شکل ۷. نتایج تحت وب الگوریتم WCCVRP

جدول ۱. پارامترهای برآورد شده‌ی الگوریتم پیشنهادی بعد از اجرا

مسیر	تعداد سطل‌های بررسی شده	حجم پسماند جمع‌آوری شده (مترمکعب)	زمان سفر (دقیقه)	کل مسافت طی شده (کیلومتر)
مسیر ۱	۱۰۳	۱٤	۲۳۱	۳٤
مسیر ۲	۸۸	۱۲	۱۸۵	۲۳
مسیر ۳	۱۰۷	۱٤	۲۳۸	۲۱
مسیر ٤	۷۵	۱۲	۲٤۰	۲۰
مسیر ۵	۱۲۲	۱۵	۲۱۹	۳۳
مسیر ٦	۹۳	۱٤	۲۳۹	۳۰
مسیر ۷	۹۸	۱٤	۲۳۹	۳۱
مسیر ۸	۸۲	۱۳	۲۳٦	۲۱

۳-۱ ارزیابی مدل

همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است نتیجه برآورد شده مدل پیشنهادی در سه پارامتر زمان سفر، مسافت پیموده شده و میزان مصرف سوخت توسط هر کامیون با مقدار واقعی (مقداری که هم اکنون از واقعیت بدست آمده) مقایسه شده است. نتایج این مقایسه حاکی از آن است که مدل پیشنهادی قادر به بهبود هر سه مورد زمان سفر، مسافت طی شده و میزان مصرف سوخت نسبت به وضع موجود بوده است که این میزان ۱٤٪، ۲٤٪ و ۳۵٪ به

ترتیب می باشد. از طرفی در جدول ۸ یک پرسشنامه جهت ارزیابی سامانه طراحی‌شده، طرح‌شده است که نشان از ۸۹ درصد کاربران از این سامانه رضایت داشته اند.

جدول ۲. مقایسه بین مقدار مسافت (کیلومتر)، زمان طی شده (دقیقه) و سوخت مصرف‌شده گازوئیل (لیتر) در مدل پیشنهادی و واقعیت

مسیر	مسافت		زمان طی شده		سوخت مصرف‌شده	
	برآورد شده	واقعی	برآورد شده	واقعی	برآورد شده	واقعی
مسیر ۱	۳٤	٤۰	۲۳۱	۲٥٤	۳۷	٤۷
مسیر ۲	۲۳	۲٦	۱۸٥	۱۹۱	۲۰	۲۳
مسیر ۳	۲۱	۳۸	۲۳۸	۳۰۱	۲۳	٥۳
مسیر ٤	۲۰	۳٥	۲٤۰	۲۸٥	۲۲	٤۷
مسیر ٥	۳۳	۳۷	۲۱۹	۲٦۱	۳٤	٤٥
مسیر ٦	۳۰	۳۹	۲۳۹	۲۸۳	۳۳	٥۲
مسیر ۷	۳۱	٤۱	۲۳۹	۲۸۰	۳٥	٥٤
مسیر ۸	۲۱	۲٦	۲۳٦	۲۷۱	۲۳	۳۳
مجموع	۲۱۳	۲۸۲	۱۸۲۷	۲۱۲٦	۱۸۱٦	۲۷۹۸

جدول ۳. پرسشنامه در راستای ارزیابی سیستم طراحی‌شده و بر اساس شاخص‌های موردنظر

	ابعاد و متغیرهای سنجش و ارزیابی سیستم طراحی‌شده	کاملاً موافق	موافقم	نظری ندارم	مخالفم	کاملاً مخالفم
عملیاتی بودن	سیستم طراحی‌شده متناسب با نیازهای کاربر (راننده و کارمندان شهرداری) طراحی‌شده است.	٤	۱۹	۲	۱	۱
	تطابق عملکردی در بخش‌های مختلف سیستم وجود دارد.	۳	۱٦	٦	۲	۰
قابلیت اطمینان	باوجود عملکردهای این سیستم اکنون می‌توان آن را در قالب یک پروژه بزرگ بکار بست.	۱۳	۱۲	۱	۱	
	در صورت وجود نقص در بخش‌های خاصی از سیستم می‌توان از بخش‌های دیگر به شکل مناسب بهره جست.	۱۱	۱۱	۳	۱	۱
	در صورت حذف اطلاعات می‌توان به بازیابی آن‌ها پرداخت.	۱۸	۹			
	به‌طورکلی سیستم به‌گونه‌ای سازگار طراحی شد است و پایدار به نظر می‌رسد.	۷	۱٤	۲	۳	۱
قابلیت استفاده	استفاده از سیستم برای شما قابل‌درک و راحت است.	۲۱	٥		۱	
	قابلیت یادگیری در سیستم برای شما میسر بوده و باکمی کار کردن با آن امکان یادگیری برای شما فراهم می‌شود.	۱٥	۱۱	۱		

ابعاد و متغیرهای سنجش و ارزیابی سیستم طراحی‌شده		کاملاً موافق	موافقم	نظری ندارم	مخالفم	کاملاً مخالفم
	بخش‌های مختلف سیستم در راستای اهداف مشخصی باهم در ارتباط هستند.	۲۱	٤	۲		
	استفاده از سیستم برای شما جذاب بود.	۱٦	۱۰		۱	
	امکان استفاده از سیستم برای حل مسائل واقعی فراهم است.	۱۵	۱۰		۱	
کارایی	سیستم به نیازهای شما در زمان مناسبی پاسخ داده است.	۲۳	٤			
کارایی	ازنقطه‌نظر منابع هزینه طراحی و پیاده‌سازی آن معقول بوده است.	۲٦	۱			
کارایی	به‌طورکلی سیستم کارایی لازم را دارد.	۱۳	۱۱	۲	۱	
قابلیت نگهداری	قابلیت تحلیل سیستم برای شما وجود داشت و بخش‌های مختلف آن را می‌توانید بررسی کنید.	۸	۹	۲	۵	۳
قابلیت نگهداری	در صورت لزوم می‌توان بخش‌های مختلف سیستم را تغییر داد.	۲۱	٦			
قابلیت نگهداری	سیستم از ثبات لازم برخوردار است.	۱۷	۹	۱		
قابلیت نگهداری	عملکرد سیستم را می‌توان آزمایش کرد.	۲۰	۵	۱	۱	
قابلیت نگهداری	هزینه نگهداری سیستم مناسب است و نیاز به پشتیبانی خیلی زیادی ندارد.	۲۵	۱			
قابلیت انتقال	بر روی پلتفرم‌های مختلف می‌توان سیستم را نصب کرد.	۲٤	۲	۱		
قابلیت انتقال	در کنار سایر سیستم‌ها نیز می‌توان از این سیستم استفاده کرد.	۲۳	۲	۲		
قابلیت انتقال	این سیستم را می‌توان جایگزین بسیاری از سیستم‌های گذشته کرد.	۲٤	۱	۲		
قابلیت انتقال	در حالتی متحرک نیز می‌توان امکانات سیستم استفاده کرد. سیستم پورتال است.	۹	۸	۳	۵	۲

٤. نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی صحیح جمع‌آوری پسماند جامد شهری جهت به‌کارگیری اصولی منابع، می‌تواند از ایجاد هزینه‌های اضافی جلوگیری نماید و موجب بالا رفتن اثربخشی و درنهایت بهره‌وری مدیریت پسماند گردد. در این تحقیق یک سامانه Web GIS طراحی شد طوری که هم مسیر مناسب برای هر کامیون جمع‌آوری تعیین و هم راننده‌های وسایل نقلیه جمع-آوری پسماند و کاربران مربوطه بتوانند برنامه زمانی، مبدأ، مقصد و مسیر حرکت خود را ببینند. درواقع هدف از این تحقیق، مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند جامد شهری با استفاده از مدل‌های مکان‌مبنا و نمایش نتایج تحت وب بود. ناوگان جمع‌آوری پسماند شهر تهران یک ناوگان ثابت غیریکنواخت با تعداد ثابتی از هر نوع ماشین با هزینه و ظرفیت‌های متفاوت می‌باشد.

جهت حل مساله، WCCV پیشنهاد شد که باید مسیرهایی با حداقل تعداد وسیله نقلیه موردنظر، حداقل مسافت پیموده شده و حداقل زمان به‌کارگیری آن‌ها، برای سرویس‌دهی به‌کل سطل زباله‌ها ایجاد مشخص کند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در مدت زمان اجرای ۵ دقیقه توانسته است با در نظر گرفتن کل محدودیت‌های تعیین شده به‌صورت تواما، مسیرهای مناسب ازلحاظ زمانی و هم مسافت طی شده سفر برای هر کامیون متناسب با ویژگی‌های آن و کل ناوگان تعیین کند. به‌عبارت‌دیگر مدل پیشنهادی توانسته است یک تناسب منطقی بین تعداد سطل‌های زباله مورد بررسی توسط هر کامیون، حجم پسماند جمع‌آوری‌شده توسط هر کامیون، مسافت پیموده شده توسط هر کامیون و مدت‌زمان سرویس‌دهی توسط هر کامیون برای کل ناوگان برقرار کند. همچنین کاربران مربوطه (راننده کامیون و ...) به‌صورت آنلاین قادر به دیدن مبدأ و مقصد، مسیر، جهت حرکت، میزان مسافت طی شده و ... می‌باشند؛ اما الگوریتم برای یک پایلوت کوچک (چند تا از نواحی منطقه ۳ و ٦ شهر تهران) اجراشده است. برای مساله با ابعاد بزرگ‌تر نیاز به یک الگوریتم سریع‌تر احساس می‌شود؛ زیرا زمان حل مساله خیلی مهم است و اگر مثلاً بخواهیم تحت موبایل اجرا شود زمان زیادی را از کاربر می‌گیرد. مسیریابی با در نظر گرفتن بیش از یک تسهیل و همچنین مکان‌یابی تسهیلات (ایستگاه‌های سرویس) در کنار سایر روش‌های فرا ابتکاری از قبیل جستجوی ممنوع (TS)، الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم ممتیک (MA)، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (ACO) و ... برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردند و همچنین بهتر است با در نظر گرفتن ملاحظاتی دیگر مدل پیشنهادی شامل انواع دیگری از مسائل VRP مانند MDVRP، MDVRP، MFVRP، VRPSST، FVRP و LRP باشد. این مساله برای یک ایستگاه میانی جمع‌آوری پسماند (ایستگاه بیهقی) انجام شد درصورتی‌که شهر تهران ۱۲ ایستگاه میانی جمع‌آوری پسماند دارد. در مساله مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره (MDVRP) فرض می‌شود بیشتر از یک انبار وجود دارد و همچنین اگر یک یا دو نوع ذی‌نفع را در City VRP در نظر بگیریم ممکن است به بهینه محلی برسیم لذا بهتر است از ترکیب چند تا از ذینفعان استفاده شود.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. (MSWM) Municipal Solid Waste Management
2. MSW (Municipal Solid Waste)
3. VRP (Vehicle routing problem)
4. City VRP
5. Reverse logistics
6. Byung
7. Bautista
8. Waste collection vehicle routing problem
9. Connect/join
10. Waste Collection Capacitated Vehicle Routing problem
11. Network Dataset
12. Cost
13. Restriction
14. Depot

٦. منابع

- Asefia, H., Shahparvari, S., Chhetri, P. and Lim, S. (2019) "Variable fleet size and mix VRP with fleet heterogeneity in Integrated Solid Waste Management", Journal of Cleaner Production, Vol. 230, pp. 1376-1395.

- Mantzaras, G., and Voudrias, E. A. (2017) "An optimization model for collection, haul, transfer, treatment and disposal of infectious medical waste: Application to a Greek region", Waste management, Vol. 69, pp. 518-534.

- Wu, J. J., Sun, H. J., Gao, Z.Y., and Li, S.B. (2007) "Effects of route guidance systems on small-world network", International Journal of

- Bautista, J. and Pereira, J. (2004) "Ant algorithms for urban waste collection routing", Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Vol 3172, pp. 302–9.

- Bautista, J. and Pereira, J. (2006) "Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management", An application to the metropolitan area of Barcelona, *Omega*, Vol 34, No.6, pp. 617-629.

- Bautista, J., Fernández, E. and Pereira, J. (2008) "Solving an urban waste collection problem using ants heuristics", Computers & Operations Research, Vol 35, No.9, pp. 3020–33.

- Bautista, J., Fernández, E. and Pereira, J. (2008) "Solving an urban waste collection problem using ants heuristics", *Computers & Operations Research*, Vol 35, No.9, pp. 3020-3033.

- Bianchessi, N. and Righini, G. (2007) "Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery", Computers & Operations Research, Vol 34, No.2, pp. 578–94.

- Brown, A. L. (2002) "A GIS-based environmental modeling system for transportation planners", Computers, Environment and Urban Systems, Vol 26, No.6, pp. 577–590.

- Caric, T. and Gold, H. (2008) "The Vehicle Routing Problem", Toth P, Vigo D, editors. Society for Industrial and Applied Mathematics;

- Delipetrev, B., Jonoski, A. and Solomatine, D. (2014) "Development of a web application for water resources based on open source software", Computers & Geosciences, Vol 62, pp. 35–42.

Modern Physics,C, Vol. 18, No. 8, pp. 1243-1250.

- Alagöz, A. Z. and Kocasoy, G. (2008) "Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul", Waste management, Vol. 8, pp.1461–71.

- Alvarez, A., and Munari, P. (2017) "An exact hybrid method for the vehicle routing problem with time windows and multiple deliverymen", *Computers & Operations Research*, Vol *83*, pp. 1-12.

- Apaydin, O. and Gonullu, MT. (2007) "Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study", Global- NEST, Vol 9, No.1, pp. 6–11.

- Arampatzis, G., Kiranoudis, C. T., Scaloubacas, P. and Assimacopoulos, D. (2004) "A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies", European Journal of Operational Research, Vol 152, pp. 465–475.

- Archetti, C. and Speranza, MG. (2005) "Collection of waste with single load trucks: A real case", Springer Berlin Heidelberg, pp. 105–19.

- Aringhieri, R., Bruglieri, M., Malucelli, F. and Nonato, M. (2004) "A particular Vehicle Routing Problem arising in the collection and disposal of special waste", Presented at Tristan 2004. Guadeloupe, French West Indies.

- Arribas, C.A. and Blazquez, C.A. (2010) "Lamas A. Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems", Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, No.4, pp. 355–63.

- Eskandari Nodeh, M., Sayad Bidhanavi, L., Kalantari, H. and Mireh, M. (2007) "Investigation and analysis of spatial dependencies of waste production in Tehran", 3rd National Waste Management Conference.

- Galindo, C., Gonzalez, J. and Fernádez-Madrigal, J. A. (2010) "Interactive in- vehicle guidance through a multihierarchical representation of urban maps", *International Journal of Intelligent Systems*, Vol 25, No.7, pp. 597-620.

- Ghiani, G., Guerriero, F., Improta, G. and Musmanno, R. (2005) "Waste collection in Southern Italy: solution of a real-life arc routing problem", International Transactions in Operational Research, Vol 12, No.2, pp. 135–44.

- Ghose, M.K., Dikshit, K. and Sharma, S,K. (2006) "A GIS based transportation model for solid waste disposal--a case study on Asansol municipality", Waste management, Vol 11, pp. 1287–93.

- Greco, G., Allegrini, M., Del Lungo, C., Savellini, P. G., and Gabellini, L. (2015) "Drivers of solid waste collection costs", Empirical evidence from Italy. *Journal of Cleaner Production*, Vol *106*, No.2, pp. 364-371.

- Guerrini, A., Carvalho, P., Romano, G., Marques, R. C. and Leardini, C. (2017) "Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method", *Journal of Cleaner Production*, Vol *147*, pp. 431-441.

- Han, H. and Ponce Cueto, E. (2015) "Waste Collection Vehicle Routing Problem: Literature Review", PROMET-Traffic &Transportation, Vol 27, No.4, pp. 345-358.

- Havukainen, J., Zhan, M., Dong, J., Liikanen, M., Deviatkin, I., Li, X., and Horttanainen, M. (2017) "Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou", China. *Journal of Cleaner Production*, Vol *141*, pp. 453-461.

- Henry, R. K., Yongsheng, Z., and Jun, D. (2006) "Municipal solid waste management challenges in developing countries–Kenyan case study", *Waste management*, Vol 26, No.1, pp. 92-100.

- Huang, Y., Zhao, L., Van Woensel, T., and Gross, J. P. (2017) "Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol 95, pp. 169-195.

- Italian Institute of Statistics (ISTAT), (2013). Noi Italia 2013.

- Jakimavičius, M. and Mačerinskiene, A. (2006) "A GIS- based modelling of vehicles rational routes", *Journal of civil engineering and management*, Vol 12, No.4, pp. 303-309.

- Jelokhani-Niaraki, M. R. (2013) "Web 2.0-based collaborative multicriteria spatial decision support system: a case study of human-computer interaction patterns", (PhD thesis), University of Western Ontario, London, Ontario.

- Karadimas, N. V., Kolokathi, M., Defteraiou, G. and Loumos, V. (2007) "Ant Colony System vs ArcGIS Network Analyst: The Case of Municipal Solid Waste Collection", 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, pp. 128–34.

- Karadimas, N., Kolokathi, M., Defteraiou, G. and Loumos, V. (2007) " Municipal Waste

- Population and Housing Census (2016). Report of the National Statistics Organization.

- Rada, E. C., Ragazzi, M., and Fedrizzi, P. (2013) "Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies", *Waste management*, Vol 33, No.4, pp. 785-792.

- Report of Tehran Waste Management Organization , (2016).

- Saberian, J. (2014) "Predict the travel time of a street in a GIS environment using the periodic parameters in traffic statistics", Journal of Mapping Engineering and Local Information, Vol 7, No.7, pp.61–73.

- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J. and Current, J. R. (2008) "Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol 42, No.6, pp. 922-934.

- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J. and Current, J.R. (2008) "Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol 42, No.6, pp. 922–34.

- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., and Antunes, C. H. (2011) "A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps", *Decision Support Systems*, Vol 51, No.1, pp. 1-9.

- Sniezek, J. and Bodin, L. (2006) "Using mixed integer programming for solving the capacitated arc routing problem with vehicle/ site dependencies with an application to the routing of residential sanitation collection Collection of Large Items optimized with arc GIS network analyst", Proceedings 21st European Conference on Modelling and Simulation, pp.4–9.

- Kim, G., Ong, Y. S., Heng, C. K., Tan, P. S. and Zhang, N. A. (2015) "City vehicle routing problem (City VRP): A review", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol 16, No.4, pp. 1654-1666.

- Kim, H., Yang, J. and Lee, K-D. (2009)" Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol 14, No.5, pp. 291–9.

- Li, B. Y. and Wang, C. S. (2017) "To Solve the TDVRPTW via Hadoop MapReduce Parallel Computing", In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, pp. 55-64.

- McLeod, F. and Cherrett, T. (2008) "Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies", Waste management, Vol 28, No.11, pp. 2271-8.

- Ombuki-berman, B.M., Runka, A., Hanshar, F. (2007) "Waste collection vehicle routing problem with time windows using multi-objective genetic algorithms windows using multi-objective genetic algorithms", International Association of Science and Technology for Development Proceedings of the Third IASTED International Conference on Comutational Intelligence, pp.91–7.

- Parvin, S., Kalantari, A. H. and Moradi, A. R. (2014) "Quality of life of social groups in Tehran", Tehran Center for Studies and Planning.

vehicles", Annals of Operations Research, Vol 144, No.1, pp. 33–58.

- Sumathi, V.R., Natesan, U. and Sarkar, C. (2008) "GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill", Waste management, No.11, pp. 2146–60.

- Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T. and van Duin, J. H. R. (2001) "City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems", New York, NY, USA: Pergamon.

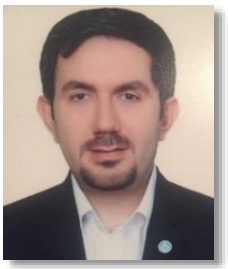
- Ustundag, A. and Cevikcan E. (2008) "Vehicle route optimization for RFID integrated waste collection system", International Journal of Information Technology & Decision Making. World Scientific Publishing Company, Vol 20, No.4, pp. 611–25.

- Wang, J., Yun, M., Ma, W. and Yang, X. (2013) "Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control", Procedia-Social and Behavioral Sciences, , Vol 96, pp. 2147-2158.

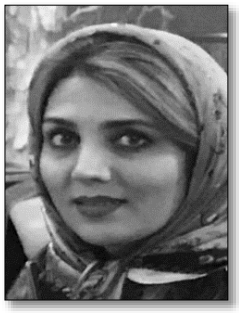
کیوان باقری ، درجه کارشناسی در رشته ریاضی کاربردی را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه رازی و درجه کارشناسی ارشد در رشته GIS&RS در سال ۱۳۹٤ را از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۹٤ وارد مقطع دکتری در رشته GIS&RS در دانشگاه تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه سازی، مسیریابی و سامانه های اطلاعات مکانی بوده است.

نجمه نیسانی سامانی دانش آموخته مهندسی نقشه برداری با گرایش سیستم اطلاعات مکانی از دانشکده فنی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۲ فعالیت خود را بعنوان عضو هییت علمی در دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از دور و GIS آغاز نمود. هم اکنون ایشان در مرتبه دانشیاری دانشگاه تهران بوده و فعالیت علمی و تخصصی ایشان در حوزه سیستمهای اطلاعات مکانی همراه، خدمات مکان مبنا، بهینه سازی و فناوریهای اطلاعات مکانی سلامت محور می باشد.

محمدرضا جلوخانی نیارکی درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران–نقشه برداری را در سال ۸۵ از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه برداری–سیستم های اطلاعات مکانی را در سال ۸۷ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته سیستم های اطلاعات مکانی از دانشگاه وسترن آنتاریو کانادا گردید. زمینه های پژوهشی ایشان سامانه های تصمیم گیری مکان–محور، سامانه های اطلاعات مکانی شهروند–محور و همچنین شهرهای هوشمند می باشد.



درجه کارشناسی را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم افزار را در سال ۱۳۷۹ از تهران و کارشناسی ارشد در رشته ژئوانفورماتیک را در سال ۱۳۸٦ از دانشگاه تونته هلند و دکتری را در رشته GIS در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه لوند سوئد اخذ نموده اند. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، زیرساخت داده/ دانش مکانی، داده کاوی مکانی، سیستم های پشتیبان تصمیم گیری مکانی و مدیریت دانش مکانی می باشد.



لیلا حاجی بابایی ،دکترای مهندسی عمران از دانشگاه ایلینویز (۲۰۱٤)،اولین کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه تهران در گرایش GIS در سال ۲۰۰٦ و دومین کارشناسی ارشد را از دانشگاه ایلینوی در رشته مهندسی صنایع در سال ۲۰۱۳ کسب کرد. دکتر حاجی بابایی از آگوست ۲۰۱۹ استادیار گروه مهندسی صنایع در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی است. پیش از آن، وی استادیار گروه مهندسی عمران در دانشگاه ایالتی نیویورک (ژانویه ۲۰۱۷ – آگوست ۲۰۱۹) و استادیار دانشگاه ایالتی واشنگتن (ژانویه ۲۰۱۵ – دسامبر ۲۰۱٦) بوده است. ایشان در زمینه تجزیه و تحلیل و بهینه سازی سیستم های حمل و نقل و لجستیک پژوهش می کند.