

ارائه یک مدل تحلیلی مبتنی بر GIS بمنظور بهینه‌سازی سیستم

جمع‌آوری پسماندهای جامد شهری

مرتضی یعقوبی^۱، مجید سرتاج^۲، حجت عباسی فارفانی^۳

کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی محیط زیست^۱

m.yaghobi@cv.iut.ac.ir

استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران^۲

m.sartaj@cc.iut.ac.ir

مدیرعامل شرکت مهندسی ایده‌محور رادکاو^۳

abbasi_hoj@yahoo.com

چکیده

آمار و اطلاعات حاکی از عدم درک اهمیت عملیات جمع‌آوری پسماند و فقدان برنامه اصولی و نظم در اجرای این مقوله می‌باشد که موجب اتلاف انرژی و منابع و نیز آلودگی محیط زیست شده است. جمع‌آوری پسماند عنصری است که بطور مستقیم با مردم سرکار دارد و راندمان آن، شاخصه یک رویه مدیریت پسماند صحیح و نشانگر موفقیت و مقبولیت متولی آن یعنی شهرداری می‌باشد. بعلاوه، با توجه به اینکه بخش اعظم هزینه مدیریت پسماند مربوط به این عنصر است و نیز توجه به مسائل زیست‌محیطی در چند دهه اخیر و پیچیدگی‌های جمع‌آوری پسماند بخاطر کثرت عوامل درگیر، اهمیت این عنصر چندین برابر شده است. لذا توجه ویژه به این عنصر توسط متولیان و مسئولان ضرورت دارد. در این تحقیق یک مدل تحلیلی و کامپیوتری مبتنی بر GIS بمنظور تعریف، مدل‌سازی و حل مساله جمع‌آوری و حمل و نقل پسماندها بسط داده شده است. کارائی و سودمندی این مدل توسط بکارگیری آن در یک مساله عملی، بصورت یک مطالعه موردی بر روی شهر شازند در استان مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از کاهش زمان کل از ۲۷ به ۱۶ ساعت معادل حدود ۴۲/۹ درصد و کاهش هزینه از ۲۵۴ به ۲۱۰ هزار تومان معادل ۱۷/۵ درصد کاهش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

جمع‌آوری پسماند، مدل تحلیلی، GIS، مطالعه موردی، مسیریابی و مسائل نقلیه

طبق تعریف چوبانوگلاس^۱، عنصر جمع‌آوری پسماند، نه تنها شامل جمع‌آوری یا برداشتن پسماندهای جامد و مواد قابل بازیافت از منابع مختلف تولید می‌باشد، بلکه شامل حمل این مواد به مکان‌هایی می‌شود که وسائل نقلیه مربوط به جمع‌آوری باید در آنجا تخلیه گردد [۱]. در شهرهای بزرگ این مکانها ممکن است مراکز فرآوری مواد (MPF)^۲، مراکز بازیافت مواد (MRF)^۳، ایستگاه‌های انتقال و یا محل دفع نهائی باشد. با افزایش مقدار پسماندها و گسترش سطح تولید و پراکندگی آنها، مشکل لجستیکی مرتبط با مساله جمع‌آوری پیچیده‌تر می‌گردد. اگر چه این مشکلات همواره وجود داشته است، ولی امروزه به دلیل هزینه بالای ماشین‌آلات، سوخت و دستمزد کارگر (که مجموعاً بیش از دو سوم کل هزینه‌های مدیریت پسماند را شامل می‌شود) و حجم رو به افزایش پسماندها مشکل مشخص‌تر و بحرانی‌تر شده است. در بیشتر کشورهای در حال توسعه سیستم جمع‌آوری پسماندهای جامد اغلب بسیار ناکارآمد می‌باشد. کارگران ممکن است انگیزه خیلی کمی داشته باشند، تعلیم ندیده باشند، حقوق کمی به آنها پرداخت شود و به آنها اعتنائی نشود. دیگر موانعی که در سر راه پربازده‌تر بودن سیستم وجود دارد شامل عدم وجود تجهیزات مناسب و یا تجهیزات فرسوده و دارای کارائی پائین می‌باشد، همچنین مسیریابی که همراه با رشد شهر عریض نشده‌اند. در واقع یک سیستم جمع‌آوری کارآمد شامل طراحی و برنامه‌ریزی صحیح بمنظور جمع کردن پسماندها با توجه به میزان مشخصی از نیروی کار، سرمایه و زمان می‌باشد که در کاهش هزینه‌های اجرائی مدیریت پسماندهای جامد، سلامت انسان و محیط زیست و نیز رضایت عمومی جامعه سهم عمده‌ای دارد [2].

در کشور ایران جمع‌آوری پسماندهای شهری عموماً به عهده معاونت خدمات شهری شهرداری‌ها یا سازمان بازیافت و تبدیل مواد می‌باشد. نگاهی اجمالی و گذرا به وضعیت جمع‌آوری پسماند در اغلب شهرهای کشور حاکی از این واقعیت تلخ است که هیچ‌گونه برنامه‌ریزی منسجم و اصولی در این زمینه وجود ندارد و بدون اینکه درک صحیحی از این مقوله وجود داشته باشد، بصورت فردی و تجربی مدیریت می‌گردد که همین مساله موجب اتلاف انرژی، منابع و سرمایه‌ها شده و نارضایتی مردم را در پی دارد.

لذا در این تحقیق یک مدل تحلیلی و کامپیوتری مبتنی بر GIS بمنظور تعریف، مدل‌سازی و حل مساله جمع‌آوری و حمل و نقل پسماندها بسط داده شده است. بدین‌منظور ابتدا توسط یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کل شهر با توجه به عواملی نظیر ظرفیت وسیله، زمان شیفت کاری روزانه، تعداد سفر روزانه به محل دفع و غیره، به چندین منطقه تقسیم می‌گردد به نحوی که هر وسیله در طول روز کاری خود در یک منطقه فعالیت کند. به این بخش از کار عملیات ناحیه‌بندی (Partitioning) گفته می‌شود. سپس توسط یک روش ابتکاری، کوتاهترین مسیر عبوری هر وسیله در داخل منطقه‌ای که به آن تخصیص یافته است، بدست آمد. این بخش از کار به عملیات مسیریابی (Routing) معروف می‌باشد. کارائی و سودمندی مدل بسط داده شده توسط بکارگیری آن در یک مساله عملی، مورد بررسی قرار گرفته است. مساله عملی مذکور بصورت یک مطالعه موردی بر روی شهرستان شازند در جنوب غربی شهر اراک در استان مرکزی، با حدود ۲۱۸۰۰ نفر جمعیت و نرخ تولید پسماند روزانه برابر با ۱۳ تن می‌باشد.

۲ - مروری بر کارهای انجام شده

ریکاردو مینسیاردی و همکاران مساله بنیادی جمع‌آوری پسماندهای جامد را بصورت یک شبکه جاده‌ای متشکل از گراف $G=(N,A)$ تعریف می‌کنند که گراف G شامل تعدادی نقاط گره‌ائی (Nodes) و خیابان‌ها (Arcs) می‌باشد. یک مجموعه پارامتر نظیر زمان مورد نیاز برای عبور و یا زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری پسماند بر روی هر خیابان، در داخل شبکه تعریف می‌شود. یک تعداد معین وسیله با ظرفیت محدود در اختیار می‌باشد. شروع و خاتمه سرویس هر وسیله در یک گره از پیش تعیین شده بنام گاراژ می‌باشد. هدف این است که تمام پسماندها در حداقل زمان ممکن، جمع‌آوری گردد در حالیکه نباید از دو قید زمان و ظرفیت تخطی گردد. این مساله، به مساله مسیریابی وسائل نقلیه (VRP)^۴ معروف می‌باشد [۳]. با توجه به توضیحات فوق، مساله جمع‌آوری پسماند بنوعی یک مساله مسیریابی و زمان‌بندی وسائل نقلیه می‌باشد و مسیریابی وسیله نقلیه بمنظور بهره‌وری حداکثر از تجهیزات جمع‌آوری، مهمترین فعالیت در طراحی سیستم جمع‌آوری پسماند می‌باشد. بنابراین بمنظور تحلیل سیستم جمع‌آوری باید مسیریابی، زمان‌بندی و محل سرویس‌دهی هر وسیله را مورد بررسی قرار داد. اولین بار دانتزینگ و رامر مساله مسیریابی وسیله نقلیه را مطرح کردند و یک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی برای حل آن ارائه کردند [۴].

¹ Tchobanoglous

² Materials Processing Facility

³ Materials Recovery Facility

⁴ Vehicle Routing Problem

لیب من اشاره می‌کند که در مساله مسیریابی که برای جمع‌آوری پسماندها بکار می‌رود دو نگرش عمده وجود دارد. اگر مکان تقاضا بر روی نقاط گراف باشد (بعنوان مثال پسماندهای صنعتی و تجاری)، مساله بصورت یک مساله مسیریابی نقطه‌ای مدل می‌گردد. این مساله معروف به مساله فروشنده دوره‌گرد می‌باشد [۵]. مساله عمومی فروشنده دوره‌گرد از نوع NP-hard^۵ می‌باشد یعنی اینکه با افزایش اندازه مساله، زمان حل مساله با یک تابع نمائی افزایش می‌یابد. لذا بمنظور حل این قبیل مسائل نیاز به استفاده از روش‌های ابداعی است. گولدن و همکاران چندین الگوریتم ابداعی (ابتکاری) برای یافتن راه‌حل‌های تقریبی برای مساله فروشنده دوره‌گرد توضیح می‌دهند [۶].

دومین مساله که در آن کمیت تقاضا در امتداد کمان‌ها در یک شبکه اتفاق می‌افتد، از نوع مساله مسیریابی قوسی است و برای جمع‌آوری پسماندها از نواحی مسکونی قابل کاربرد است [۵]. این مساله معروف به مساله پست‌چی چینی است چون اولین راه‌حل برای این مساله در مجله چینی Mathematics با کاربرد برای مسیریابی تحویل نامه‌های پستی حل شد [۷]. در مساله پست‌چی، پیمودن تمام کمان‌های شبکه الزامی بود، در حالیکه نوعی مساله پست‌چی وجود دارد که تنها بخشی از کمان‌های شبکه نیاز به سرویس دارند این نوع مساله به مساله پست‌چی روستائی معروف می‌باشد. در اغلب مسائل عملی یک وسیله تکی یا یک پست‌چی تکی قادر به سرویس‌دهی به تمام تقاضاها نمی‌باشد و در واقع محدودیت ظرفیت وجود دارد. در اینحالت پست‌چی روستائی تبدیل به دسته‌ای دیگر از مسائل مسیریابی بنام مساله مسیریابی قوسی ظرفیت‌دار می‌شود. گولدن و وانگ در سال ۱۹۸۱ نشان دادند که مساله مسیریابی قوسی ظرفیت‌دار نیز یک مساله NP-Hard است و فقط مسائل کوچک را می‌توان بطور بهینه حل کرد [۸]. کوا و هانگ یک مدل ریاضی از نوع برنامه‌ریزی با عدد صحیح ترکیبی بمنظور حل کردن مساله جمع‌آوری پسماندها مسکونی در شرقی‌ترین بخش شهر سینچو در تایوان بسط داده‌اند. این ناحیه نیاز به ۴ وسیله نقلیه داشت و دارای ۱۲۸ خیابان نیازمند به سرویس بود. زمان لازم برای اخذ جواب نیاز به اجرای برنامه ریاضی به مدت چندین روز بر روی یک کامپیوتر PC داشت. این امر مشکلات محاسباتی زیادی را ایجاد می‌کرد و استفاده از روش‌های ابداعی امری اجتناب‌ناپذیر است [۹].

مساله مسیریابی قوسی با وابستگی وسیله به محل، یک نمونه از مهمترین مولفه‌های مسیریابی قوسی ظرفیت‌دار می‌باشد. در مساله بنیادی مسیریابی قوسی ظرفیت‌دار فرض بر این است که ناوگان همگن است (تمام وسائل هم‌شکل یا هم‌ظرفیت هستند) در حالیکه در عمل ممکن است ناوگان همگن نباشد. همچنین فرض بر این است که همه وسائل قادر به عبور از همه خیابان‌ها می‌باشند که در عمل تحت شرایط فیزیکی وسائل و خیابان‌ها، برخی از وسائل قادر به عبور یا سرویس به برخی از خیابان‌ها نمی‌باشد. وقتی ناوگان ناهمگن باشد و محدودیت فیزیکی عبور یا سرویس وسائل از خیابان‌ها وجود داشته باشد مساله تبدیل به مساله مسیریابی قوسی مختلط با وابستگی وسیله به محل می‌گردد. اولین بار نگ در سال ۱۹۸۶ مفهوم وابستگی به محل و وسیله را برای مساله مسیریابی وسائل نقلیه مطرح می‌کند [10]. در سال ۲۰۰۱ اسنیزک از یک روش مرکب بمنظور پارتیشن‌بندی کردن مساله مسیریابی قوسی مختلط با وابستگی وسیله به محل در عملیات جمع‌آوری پسماند استفاده کرد و اجرای آن در شهر فیلادلفیا (آمریکا) حاکی از ۱۲ درصد بهینه‌سازی در هزینه‌ها بود [11].

با توجه به مطالب فوق، در این تحقیق مساله جمع‌آوری پسماند بصورت مساله مسیریابی قوسی مختلط با وابستگی وسیله به محل مدل شده است. بمنظور مدل‌سازی و حل این مساله از یک روش ترکیبی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیائی (GIS) استفاده شده است که در بخش‌های بعدی جزئیات آن ارائه شده است.

۳- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی شازند، در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غربی اراک، با توجه به پوشش خدمات شهری به دو ناحیه و شش محله تقسیم می‌شود. بر اساس آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۳ شهر شازند دارای حدود ۲۰۰۰۰ نفر جمعیت بوده است. پیش‌بینی شده است که این جمعیت در سال ۱۳۸۸ با توجه به نرخ رشد جمعیت برابر با ۱/۶۸ درصد، به حدود ۲۱۸۰۰ نفر افزایش یافته است. در حال حاضر بخش خدمات شهری شهرداری مسئول جمع‌آوری پسماند در شهر شازند می‌باشد. پسماندها جمع‌آوری شده، مستقیماً به محل دفن موجود در جاده نورآباد حمل می‌گردد.

طی بررسی آمار بدست آمده از ۸ روز وزن‌کشی پسماندها در این شهر، میانگین نرخ تولید روزانه پسماند در شهر شازند حدود ۱۳ تن در روز تخمین زده شده است. سیستم جمع‌آوری در این شهر دارای سه وسیله شامل یک دستگاه ایوبکو مجهز به مخزن شیرابه و دستگاه متراکم‌کننده پسماند با ظرفیت ۸ مترمکعب و یک سرویس در روز بمنظور پوشش منطقه ۵ و ۶، یک دستگاه خاور با ظرفیت ۵ متر مکعب، دو سرویس در روز در منطقه ۱ و ۲ و یک دستگاه مان مجهز به مخزن شیرابه و دستگاه متراکم‌کننده پسماند با ظرفیت ۶ مترمکعب و یک سرویس در روز در منطقه ۳ می‌باشد. پسماندهای کارخانه پتروشیمی، نیروگاه و پالایشگاه (منطقه ۴) بصورت جداگانه

^۵ Non Polynomial Hard

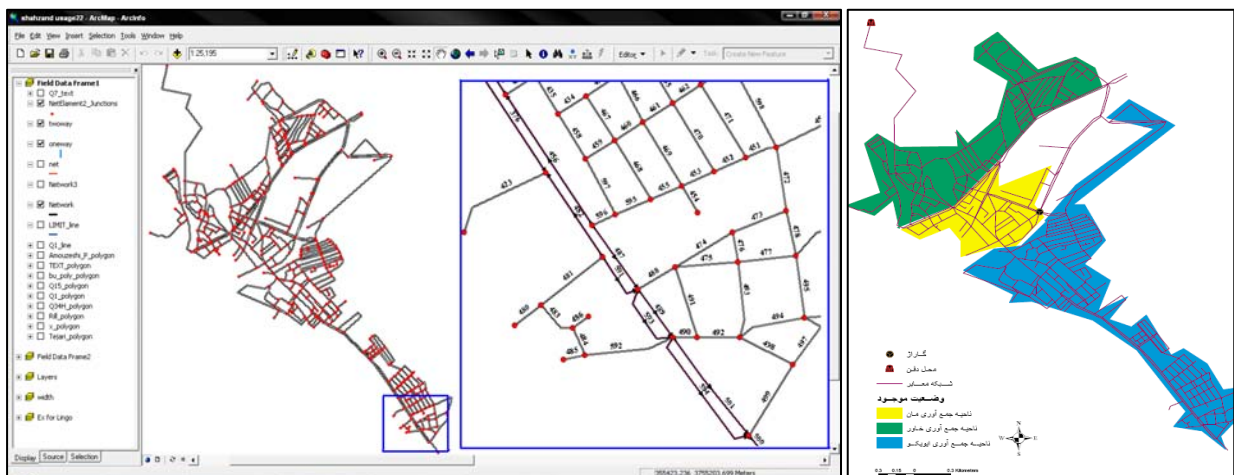
جمع‌آوری و دفع می‌گردد. منطقه تحت خدمت هر وسیله در شکل ۱ نمایش داده شده است که در آن ناحیه سبز رنگ منطقه خدمت مربوط به خاور، ناحیه زرد رنگ منطقه خدمت مربوط به مان و ناحیه آبی رنگ منطقه خدمت ایویکو را نشان می‌دهد. هر یک از سه وسیله دارای سه پرسنل (یک راننده و دو خدمه جمع‌آوری) است و شیفت کاری آنها ۶ صبح تا ۱۲ ظهر است که عملاً گاهی اوقات حتی تا ساعت ۱۵ ادامه می‌یابد. عبارتی ساعات کاری هر یک از خدمه روزانه شش ساعت عادی و سه ساعت اضافه‌کاری می‌باشد. در ضمن بر اساس اطلاعات اخذ شده از بخش خدمات شهری شازند، مجموع کل هزینه روزانه مربوط به وسیله نقلیه مان، خاور و ایویکو به ترتیب برابر با ۸۳۸۶۸، ۸۲۶۷۱ و ۸۹۴۴۳ تومان بوده است که در مجموع هزینه جمع‌آوری روزانه پسماندهای این شهر برابر با حدود ۲۵۶۰۰۰ تومان بوده است. مقایسه بین نتایج نمونه‌گیری خودروها نشان‌دهنده این بود که نوع و میزان اقلام جمع‌آوری شده تقریباً مشابه بوده و تفاوت چندانی ندارند. عبارتی، ترکیب پسماند در قسمتهای مختلف شهر تقریباً همگن می‌باشد.

۴- روش کار

روش کار در این تحقیق بدین صورت است که پس از مطالعه و بررسی تحقیقات مرتبط با موضوع، شامل حمل و نقل و برنامه‌ریزی، تحقیق در عملیات و تکنیکهای بهینه‌سازی، مهندسی سیستم‌ها و همچنین کارهای علمی و اجرایی انجام شده، یک مدل مفهومی (صورت مساله) توسعه یافته و پارامترهای درگیر با مدیریت پسماند و سیستم جمع‌آوری پسماندهای شناسائی و تعریف شده است. بمنظور مدلسازی و حل این مدل، از یک روش ترکیبی استفاده شده است. در این روش با در اختیار داشتن یک تخمین صحیح از کمیت پسماند تولیدی و متعاقب آن تعداد خدمه و وسائل مورد نیاز، منطقه باید به زیرمنطقه‌هایی تقسیم شود تا هر وسیله در یک زیرمنطقه (پارتیشن) سرویس‌دهی کند و با مشخص شدن محل سرویس هر وسیله، مسیر دقیق عبوری هر وسیله از پارتیشن مربوطه باید تعیین گردد.

یکی از مهمترین بخش‌های عملیات ایجاد مدل پایگاه داده شبکه است که در واقع نشانگر تمام اطلاعات مربوط به شبکه معابر شهری می‌باشد. مفید آن است که از مدل پایگاه داده‌ای استفاده شود که توسط آن بتوان شبکه حمل و نقل را به مناسب‌ترین وجه ممکن خلاصه‌سازی (رمزبندی)، ذخیره، بازیابی، اصلاح و تحلیل کرد. صریحاً، سامانه اطلاعات جغرافیائی (GIS) برای انجام اینکار بطور وسیع مورد توجه قرار می‌گیرد، چون این سامانه در زمره بهترین ابزارها بمنظور ذخیره و استفاده از مدل‌های پایگاه داده شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد [۱۲]. لذا در این تحقیق پس از مطابقت فایل اتوکد نقشه کاربری اراضی شهر با نرم‌افزار GoogleEarth، گراف مربوط به شبکه معابر شهر مطابق شکل ۲ ایجاد گردیده سپس اطلاعات توصیفی گردآوری شده حاصل از اطلاعات میدانی به GIS فراخوانی شده و در نهایت مدل پایگاه داده شبکه مربوط در GIS ایجاد گردید.

پس از تکمیل پایگاه مدل داده شبکه، نوبت به مدلسازی و تحلیل عملیات جمع‌آوری پسماند می‌رسد. اصولاً اولین قدم در تعریف، مدلسازی و حل یک مساله جمع‌آوری پسماندها، داشتن یک تخمین صحیح از میزان پسماند تولیدی روزانه و تعریف و تخمین بارکاری روزانه می‌باشد. در مساله مسیریابی قوسی ظرفیت‌دار، بارکاری در یک ناحیه عبارت است از تخمینی از کل زمان مورد نیاز برای وسائل نقلیه، تا در این زمان کل ناحیه مربوط را سرویس بدهد. این تخمین از بارکاری به یک تخمین از تعداد وسیله مورد نیاز برای سرویس‌دهی به ناحیه، تبدیل می‌گردد. با استفاده از روش‌های قطعی ارائه شده در مرجع [1]، بارکاری روزانه و متعاقب آن تعداد وسائل بدست آمد که با کمی محافظه‌کاری مطابق با تعداد وسائل موجود در نظر گرفته شد.



شکل ۲- گراف (کمان‌ها و گره‌ها) نماینده شبکه معابر شهری شهر شازند

شکل ۱- محل سرویس کنونی هر وسیله

پس از مشخص شدن تعداد وسائل، مساله اصلی شامل تعیین محل سرویس و مسیر حرکت هر وسیله می‌باشد. به همین دلیل کل منطقه با توجه به قیودی نظیر زمان و ظرفیت وسیله به محله‌هائی تقسیم‌بندی (پارتیشن‌بندی) گردید. بمنظور پارتیشن‌بندی از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است که روابط آن در زیر آمده است. این مدل متغیرهای مساله تخصیص عمومی که در سال ۱۹۸۱ توسط فیشر و جی کومار ارائه شده و نیز مساله مکانیابی مراکز و دیگر قیودش را با یکدیگر ترکیب می‌کند. بعلاوه مدل هزینه ارائه شده توسط اسنیزک به این روش ترکیبی افزوده شده و قابلیت مدل را بسیار بالا برده است. در واقع این مدل هزینه علاوه بر اینکه امکان بررسی و مقایسه بیشتر بر روی جواب‌ها را می‌دهد، امکان تغییر در ترکیب ناوگان را نیز در داخل این مدل ریاضی فراهم می‌کند که این یک ویژگی منحصر بفرد نسبت به روش‌های مشابه است [11].

$$\text{MIN...}Z = \lambda(\text{GEOSPREAD}) + \alpha(\text{COSTVALUE}) \quad (1)$$

Subject To:

$$\sum_{k \in a(i)} \sum_p X_{ikp} = 1 \quad \forall i \text{ where } a(i) \neq \emptyset \quad (2)$$

$$\sum_k Y_{kp} \leq 1 \quad \forall p \quad (3)$$

$$X_{ikp} \leq Y_{kp} \quad \forall i, k, p \quad (4)$$

$$\sum_k \sum_p Y_{kp} \leq P \quad (5)$$

$$\sum_p Y_{kp} \leq Q_k \quad \forall k \quad (6)$$

$$Z_{kp} \leq Y_{kp} * Z'_k \quad \forall k, p \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_{k \in a(i)} C_{ik} X_{ikp} \leq \sum_k M_k Z_{kp} \quad \forall p \quad (8)$$

$$\text{DIST}_p = \theta \sum_i \sum_{k \in a(i)} L_i X_{ikp} + \sum_k [(D_{okp} + D_{o'kp} + D_{o'ko}) * Y_{kp} + 2D_{o'kp} * Z_{kp}] \quad \forall p \quad (9)$$

$$\text{TIME}_p = \phi \sum_i \sum_{k \in a(i)} S_{ki} X_{ikp} + \sum_k [(T_{okp} + T_{o'kp} + T_{o'ko}) * Y_{kp} + 2T_{o'kp} * Z_{kp} + DT_k Z_{kp}] \quad \forall p \quad (10)$$

$$\text{OT}_p \geq \text{TIME}_p - \sum_k \text{TARGET}_k * Y_{kp} \quad \forall p \quad (11)$$

$$\text{OT}_p \leq \text{MAX_PARTITION_OVERTIME} \quad \forall p \quad (12)$$

$$\text{GEOSPREAD} = \sum_i \sum_{k \in a(i)} \sum_p (D_{ikp})^2 X_{ikp} \quad (13)$$

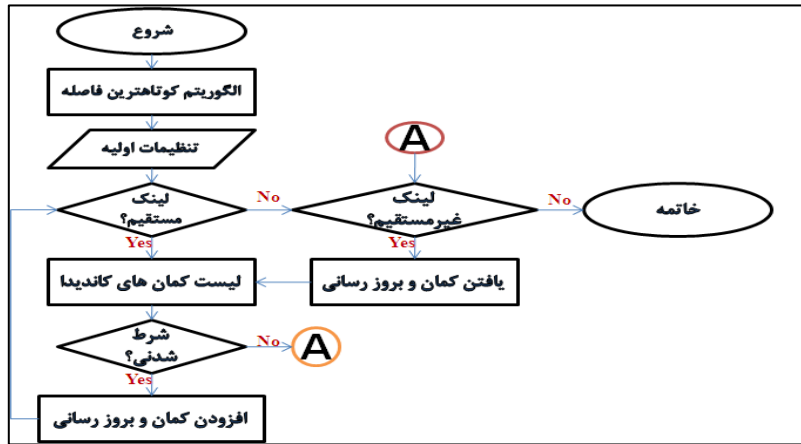
$$\text{COSTVALUE} = \sum_{ki} \sum_p (\$FC_k * Y_{kp} + \$TIP_k Z_{kp}) + \sum_p (\$HOURE_k * \text{OT}_p + \$KM_k * \text{DIST}_p) \quad (14)$$

$$\text{All Variable} \geq 0, Y_{kp} = 0 \text{ or } 1, Z_{kp} \geq 0 \text{ or } 1, X_{ikp} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall (i, k, p) \quad (17)$$

در روابط فوق X_{ikp} : متغیر تخصیص کمان i به یک وسیله k در نقطه تغذیه p , Y_{kp} : متغیر مربوط به تخصیص کلاس وسیله k به نقطه تغذیه p , Z_{kp} : متغیر تعداد سفر به محل دفن برای وسیله k در دسته p , OT_p , DIST_p , TIME_p , P : فاصله و اضافه‌کار کل متناظر با هر پارتیشن p , GEOSPREAD : اندازه توزیع جغرافیائی، COSTVALUE : هزینه کل می‌باشد. با توجه به کثرت متغیرها و پارامترهای مربوط در روابط فوق و محدودیت تعداد صفحات، بمنظور کسب اطلاعات دقیق‌تر به مرجع [11] مراجعه نمایید. الگوریتم فوق در محیط Lingo کدنویسی گردید. نرم افزار Lingo علی‌رغم سادگی یادگیری، نرم افزار بسیار کاربردی و قابل استفاده در سطوح بالای مدیریتی است و در عین حال دارای قابلیت‌هائی است که آن را به یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای تحقیق در عملیات تبدیل کرده است.

زمانی که محل سرویس هر وسیله مطابق روش فوق تعیین گردید، مساله این است که هر وسیله از چه نقطه‌ائی شروع به حرکت کند، از کدام خیابان‌ها عبور و سرویس‌دهی کند و در پایان روز کاری از چه مسیری به گاراژ برگردد. این مساله همان مساله اصلی مسیریابی

است. روش حل مساله مسیریابی در این تحقیق بر اساس یک الگوریتم ابداعی به نام الگوریتم ساخت مسیر می‌باشد که در سال ۲۰۰۳ توسط ریسنده و ریبیو بسط داده شده است [13]. اگر چه این الگوریتم بهینه‌ترین جواب‌ها را ارائه نمی‌کند اما از نظر سهولت و سرعت اجرا بسیار مطلوب می‌باشد و جواب‌های شدنی و مناسبی در زمان کوتاه در اختیار قرار می‌دهد. فلوچارت مربوط به این الگوریتم را در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- فلوچارت مربوط به الگوریتم مسیریابی در داخل هر پارتیشن

مطابق با این فلوچارت، ابتدا کوتاهترین فاصله بین تمام کمان‌های شبکه بدست می‌آید. بدین منظور می‌توان از الگوریتم‌هایی چون الگوریتم دایکسترا، بلمن، ضرب جدولی، شیمبل و غیره استفاده کرد که در این تحقیق از روش شیمبل استفاده گردید (جزئیات آنرا می‌توانید در منبع [12] جستجو نمایید). سپس الگوریتم فوق یک مسیر را از نقطه گارژ شروع می‌کند و در هر تکرار براساس محدودیتها و معیارهای معین، کمان‌هایی که نیازمند سرویس هستند به این مسیر می‌افزاید تا اینکه مسیر تکمیل گردد. در هر تکرار یک لیست کاندیدا از کمانهای نیازمند به سرویس ایجاد می‌شود و از میان کمان‌های نیازمند به سرویس مطابق با یک رابطه سخت‌گیرانه، یک کمان بدون تخطی از شرط شدنی بودن راه‌حل انتخاب کرده و آنرا به مسیر کنونی در حال ساخت، می‌افزاید. این مرحله آنقدر تکرار می‌شود تا اینکه جواب نهایی بدست آید و یک مسیر برابر با ظرفیت وسیله، بدون تخطی از قید زمان ساخته شود (برای دریافت جزئیات بیشتر به منبع [13] مراجعه کنید). الگوریتم فوق در محیط MATLAB کدنویسی گردید. با در اختیار داشتن پایگاه داده شبکه، اطلاعات ورودی این الگوریتم شامل شماره هر خیابان، طول، زمان عبور و زمان سرویس به هر خیابان و وضعیت یک طرفه یا دو طرفه بودن آن، از GIS استخراج گردید و در محیط MATLAB فراخوانی گردید. پس از اجرای الگوریتم، مسیر عبوری برای هر وسیله بصورت ترتیبی از خیابان‌هایی که باید در شبکه پیموده شوند بدست آمد.

۵- نتایج و تحلیل‌ها

مزیت اصلی تشکیل پایگاه در این است که براحتی این امکان را فراهم کرده تا با توجه به حالت خاصی که وضعیت جمع‌آوری پسماند در شهر شازند وجود داشت، امکان در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف فراهم می‌شد که در این مقاله دو گزینه در نظر گرفته شد. اولین گزینه بر اساس وضعیت موجود بود. یعنی با اجرای الگوریتم مسیریابی در داخل هر یک از پارتیشن‌های موجود، یک مقایسه بین مسیر کنونی (که بطور تجربی توسط رانندگان پیموده می‌شود) و مسیر بدست آمده از الگوریتم مسیریابی انجام گرفت. بدین منظور ابتدا الگوریتم مسیریابی در هر پارتیشن اجرا گردید. داده‌های میدانی برای دو پارتیشن مربوط به خاور و ایویکو گردآوری گردیده بود، لذا مقایسه بین مسیر موجود و مسیر بدست آمده، تنها برای این دو وسیله انجام گرفت. در جدول ۱ می‌توان نتایج بدست آمده از داده‌های میدانی و خروجی‌های الگوریتم مسیریابی را مقایسه نمود. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد برای خاور و ایویکو، هر سه پارامتر زمان، طول و تعداد کمان‌های پیموده شده بطور میانگین ۸/۴۶، ۲/۸۹ و ۱۱/۰۳ درصد بترتیب کاهش یافته است.

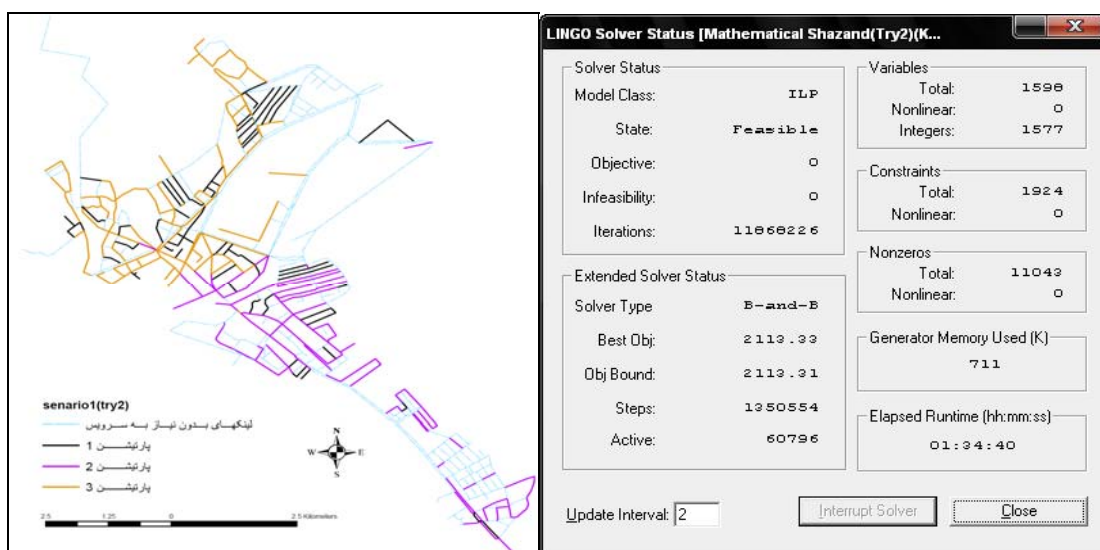
جدول ۱: نمایش نتایج اجرای الگوریتم مسیریابی و مسیرهای موجود

	خاور	۳۷۰۰۶	۲۱۵۰۶	۱۹۴
الگوریتم مسیریابی	مان	۱۹۹۳۶	۱۶۲۳۳	۱۰۶
	ایویکو	۳۱۴۳۳	۲۱۷۹۴	۱۶۶
	خاور	۳۸۹۷۵	۲۲۱۰۰	۲۰۹
سیستم موجود	مان	-	-	-
	ایویکو	۳۵۶۷۲	۲۲۴۸۷	۱۹۵
متوسط بهینه سازی		۸/۴۶	۲/۸۹	۱۱/۰۳

دومین گزینه بر اساس مساله مسیریابی قوسی مختلط با وابستگی وسیله به محل بود. در این گزینه فرض شده بود که ایویکو، قادر به سرویس دهی به خیابان‌های با عرض بیشتر از ۱۴ متر، خاور قادر به عبور و سرویس دهی به خیابان‌های با عرض بیشتر از ۸ متر و مان مجاز به عبور و سرویس دهی به همه خیابان‌ها است. بنابراین پارامترهای ورودی الگوریتم پارتیشن‌بندی تنظیم و برنامه Lingo اجرا گردید. بخشی از خروجی‌های برنامه در جدول ۲ نشان داده شده است. مشاهده و بررسی جدول نشان می‌دهد که یک دستگاه خاور جایگزین ایویکو شده است و این مساله تا حد زیادی موجب بهبود جواب شده است. بخش دیگری از خروجی‌ها بصورت گرافیکی در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نمایش داده شده است. در شکل شماره ۴ پنجره وضعیت حل لینگو مشاهده می‌شود که در آن تمامی خصوصیات مربوط به تعداد متغیرها، پارامترها، زمان حل و غیره نشان داده شده است و در شکل شماره ۵ که نتایج کمان‌های تخصیص داده شده به هر وسیله را بطور گرافیکی در محیط GIS نشان داده است. بعلاوه زمان کل از ۲۷ به ۱۵/۴ ساعت (معادل ۴۲/۹ درصد) کاهش یافته است. کاهش زمان اضافه کاری و تعویض وسائل نسبت به وضعیت موجود، منجر به کاهش هزینه از ۲۵۵۹۸۰ به ۲۱۱۲۳۸ تومان، معادل با حدود ۱۷/۵ درصد شده است. در نهایت الگوریتم مسیریابی برای هر پارتیشن اجرا و مسیر عبوری هر وسیله بدست آمد.

جدول ۲- نتایج خروجی مربوط به الگوریتم پارتیشن‌بندی در گزینه دوم

مجموع	پارتیشن ۳	پارتیشن ۲	پارتیشن ۱	خروجی‌ها
۳	خاور	خاور	مان	وسیله تخصیص یافته به هر پارتیشن
۷	۳	۳	۱	تعداد سفر به محل دفن
۳۱۹	۱۱۵	۱۲۶	۷۸	تعداد کمان (خیابان) تخصیص یافته به هر پارتیشن
۱۸۵۴	۷۴۹/۸	۶۰۴/۷	۴۹۹/۶	مجموع حجم پسماند در هر پارتیشن
۹۱/۸۲	۳۶/۲۵۸	۳۵/۸۹۳	۱۹/۶۷۱	مجموع طول پیموده شده (کیلومتر)
۱۵/۴	۵/۶۶۲	۵/۱۳۵	۴/۵۸۴	مجموع زمان سرویس در هر پارتیشن (ساعت)
۰	۰	۰	۰	زمان اضافه کاری (ساعت)
	۲۱۱۲۳۸/۳			هزینه کل (تومان)
	۰/۹۵۶۲۲۰۴			توزیع جغرافیایی کل (کیلومتر مربع)



شکل ۵- کمان‌های تخصیص یافته به هر وسیله (گزینه دوم)

شکل ۴- وضعیت حل لینگو برای گزینه دوم

۶- خلاصه نتایج و پیشنهادات

همانطور که عنوان شد مزیت اصلی پایگاه داده شبکه در GIS این است که امکان در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف را فراهم می‌آورد. این روش برخورد با مساله از یک سو به کنترل صحت و کارائی روش‌های بهینه‌سازی ارائه شده در تحقیق و از سوی دیگر انتخاب‌ها و مقایسات متفاوت را امکان پذیر می‌سازد. بدین وسیله مدیران و مسئولان شهری را در اخذ بهترین تصمیم در کوتاه‌ترین زمان یاری می‌کند. از اینرو در این مقاله دو گزینه متفاوت در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در سیستم موجود زمان اداری کار هر وسیله ۶ ساعت می‌باشد و بطور متوسط روزانه ۳ ساعت اضافه‌کاری به خدمه هر وسیله تعلق می‌گیرد، زمان کل در این سیستم ۲۷ ساعت می‌باشد که این زمان در نهایت بر اساس روش پیشنهاد شده به ۱۵/۴ ساعت کاهش یافت که معادل حدود ۴۲/۹ درصد کاهش می‌باشد. حال اینکه با توجه به جایگزینی خاور به جای دو وسیله دیگر در گزینه آخر و نیز کاهش زمان اضافه‌کاری خدمه هزینه کل از ۲۵۶ هزار تومان در روز به ۲۱۱ هزار تومان در روز کاهش یافت که معادل حدود ۱۷/۵ درصد کاهش می‌باشد.

مدل بسط داده شده در این تحقیق عمدتاً برای مسئولان (شهرداریها) مدیریت پسماندهای جامد مورد توجه و جالب است. انتظار می‌رود که آنان از این مدل به روشهای مختلفی نظیر آنچه در زیر آمده است استفاده نمایند:

- برای طراحی مسیرهای جمع‌آوری برای مناطق جمع‌آوری جدید (مانند یک زیرناحیه جدید)
- برای ارزیابی روشهای جایگزین برای سیستم‌های جمع‌آوری موجود (مثلاً اجرای یک سیستم جمع‌آوری خشک/تر)
- برای ارزیابی اثر تغییرات بر روی سیستم جمع‌آوری موجود (مثلاً تغییر در فرکانس جمع‌آوری)
- برای تعیین ظرفیتهای مناسب برای کامیونهای جدید، وقتی ناوگانهای جمع‌آوری جایگزین می‌شوند

منابع

- [1] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993), "Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues", McGraw Hill, Singapore.
- [2] UNEP., (1996), "International Source Book On Environmentally Sound Technologies For Municipal Solid Waste Management," Technical Publication Series (6), IETC.
- [3] Minciardi, R. et al., (2005), "A new procedure to plan outing and scheduling of vehicles for solid waste collection at a metropolitan scale", Waste Management 24,pp 227-295.
- [4] Dantzig, G. and Ramser, J., (1959), "The Truck Dispatching Problem", Management Science 6,pp 81-91.
- [5] Liebman J.C., (1997), "Chapter 5: Solid Waste Management in Design and operation of civil and environmental engineering systems", John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- [6] Golden, B.L., Bodin, L., doyle, t. and Strwart, W., (1979), "Approximate traveling salesman algorithms", Operations Research, XX, pp 694-711.
- [7] Mei-Ko Kwan., (1962), "Graphic Programming using Odd and Even Points", Chinese Math. 1, pp 273-277.
- [8] Golden, B.L. and Wong, R.T., (1981), "Capacitated Arc Routing Problems", Networks. 11,pp 305-315.
- [9] Kao, J. and Huang, C., (2000), "A Heuristic Model for Municipal Solid Waste Collection Vehicle Routing ", Submitted for Publication. Institute of Environmental Engineering, national Chiao Tung University.
- [10] Nag, B., (1986), "Vehicle Routing in the Presence of site/Vehicle Dependency Constraint", ph.D Dissertation, University of Maryland, College Park, MD.
- [11] Sniezek, J.S., (2001), "The Capacitated Arc Routing Problem With Vehicle Site Dependency", University of Maryland, Collage Park, Copyright By Bell and Howell Information and Learning Company.
- [12] Rodrigue, J.P., Comtois, C. and Slack B., (2009), "The Geography of Transport Systems" New York: Routledge, 352 pages. Seconf Edition, ISBN 978-0-415-48324-7.
- [13] Resende, M.G.C. and Ribeiro, C.C., (2003), "Greedy Randomized Adaptive Search Procedures", State of the Art Handbook in Meta-heuristics , Glover, F. and Kochenberger, G.A. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 287-319.