مدل سازی برنامه ریزی عدد صحیح در جمع آوری پسماندهای شهری
« مطالعه موردی منطقه ۲ شهرداری تهران ناحیه یک »

دکتر حیدر لطفی

مدیر گروه جغرافیا و مدیر مسئول فصلنامه جغرافیای انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار

Heydare_lotfi@yahoo.com

بابک صادقی

کارشناس ارشد مدیریت شهری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

bsadeghi181@ gmail. com

چکیده:

در این مقاله الگوریتمی طراحی می گردد تا با ارائه مسیرهای مناسب درون هر ناحیه شهرداری، هزینه های جمع آوری پسماند را به حداقل ممکن کاهش دهد. از آنجا که میزان مصرف سوخت رابطه مستقیمی با مسافت طی شده توسط ماشین های جمع آوری پسماند دارد، با حداقل کردن مسافت طی شده می توان هزینه های سوخت مصرفی را نیز کاهش داد. هم چنین با توجه به اینکه جمع آوری پسماند در صد عمده ای (حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد) از مخارج کل یک سیستم مدیریت پسماند شهری را تشکیل می دهد (علوی مقدم. م ۱۳۷۷، ۵۹)، در صد اندکی بهبود در عملکرد سیستم، موجب کاهش کل هزینه های مدیریت پسماند به میزان قابل ملاحظه ای می شود. مدل ریاضی این مساله از نوع برنامه ریزی عدد صحیح با سه نوع متغیر تصمیم گیری و چهار نوع محدودیت است که برای حل آن در زمان نسبتا" کوتاه یک روشی ابتکاری شامل سه الگوریتم پیشنهاد می گردد. در روش پیشنهادی، ابتدا کل محدوده مورد بررسی با استفاده از الگوریتم اول (بخش بندی[1]) به بخش های کوچکتر تقسیم می گردد که هرناحیه از تعدادی مخزن تشکیل می شود و بین چهار خیابان محصور است. هر نقطه واقع در مرز هر ناحیه می تواند یک نقطه شروع یا پایان بالقوه برای عملیات جمع آوری باشد. سپس با استفاده از الگوریتم دوم (تولید مسیر) برای هر بخش کوتاه ترین مسیر بین هر زوج نقطه شروع و پایان تعیین می شود. در گام بعد الگوریتم ترکیب، بخش های همجوار مناسب را با توجه به ظرفیت و تعداد ماشین های جمع آوری موجود در هر ناحیه مشخص می کند بطوریکه کل مسافت طی شده در مجموع این بخش ها به حداقل برسد. در این روش ابتکاری موانع توپولوژیکی مانند بن بستها و بلوارها و همچنین مقررات ترافیکی مانند یک طرفه بودن به عنوان محدودیت لحاظ شده اند تا نتایج حاصل از این روش هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشند. هم چنین به منظور حصول اطمینان از عملکرد الگوریتم در ابعاد واقعی، مورد کاوی این تحقیق برای سه ناحیه از شهرداری تهران انجام می شود و عملکرد الگوریتم از مقایسه میزان مسافت طی شده در حالت واقعی با میزان مسافت طی شده توسط الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می گیرد، که در نهایت برتری روش پیشنهادی در این مقاله را

[1] Zoning Algorithm

نسبت به روش بکار رفته در دنیای واقعی نشان می دهد.

واژه های کلیدی: مدیریت پسماند، مدیریت شهری، برنامه ریزی شهری، مسیریابی، جمع آوری پسماند، مدلسازی ریاضی

مقدمه

مدیریت پسماندهای شهری شامل شش مرحله اصلی تولید پسماند، انتقال پسماند تولید شده به مخازن جمع آوری، جمع آوری، حمل و نقل، پردازش و بازیافت و دفع نهایی می باشد. در مرحله تولید پسماند به بررسی انواع پسماندها و عوامل موثر بر میزان تولید آن ها پرداخته می شود. مرحله دوم شامل سه فعالیت اصلی جابجایی (انتقال پسماند به محل های جمع آوری)، ذخیره در محل (مدت زمان تا جمع آوری پسماند و نحوه نگهداری آن در این فاصله) و پردازش (انجام هر گونه عملیات فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی روی پسماند مثل جداسازی کاغذ و شیشه از سایر پسماندها) می شود (محمد علی عبدلی، ۱۳۷۱). جمع آوری پسماند عبارت است از برداشتن پسماند از محل تولید و بارگیری آنها در ماشین های جمع آوری. در سیستم فعلی مدیریتی در تهران، که از ایستگاه های انتقال استفاده می شود، جمع آوری عبارت است از برداشتن پسماند از درب منازل و یا محل های تولید دیگر، بارگیری مواد در ماشین های جمع آوری و حمل مواد به ایستگاه انتقال و تخلیه مواد در ایستگاه انتقال و یا در کامیون بزرگتری که در ایستگاه قرار دارد. منظور اصلی از ساخت ایستگاه های انتقال، جمع آوری مواد توسط تعداد زیادی از ماشین های کوچکتر و حمل آنها به ایستگاه های انتقال است. در این ایستگاه ها، پسماند از تجهیزات کوچکتر به کامیون های بزرگتر منتقل شده و در بسیاری از موارد یک سری عملیات دیگر مانند تراکم، بازیافت اجزاء نیز بر روی آن انجام می پذیرد. در حال حاضر ۴۴۷ ماشین موجود با ظرفیت های ۳، ۶ و ۹ تن برای جمع آوری پسماند، روزانه ۲۵۰۰ پارتی حرکت انجام داده و به صورت تقریبی ۱۲ الی ۱۸ تن پسماند را از سطح شهر جمع آوری می کنند.(مدارک موجود در سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران ، ۱۳۸۵) حمل و نقل چهارمین مرحله از مراحل شش گانه مدیریت پسماند جامد است و به وسایل، امکانات و ابزاری اطلاق می شود که برای انتقال پسماند جامد از وسایل نقلیه کوچک جمع آوری به وسایل نقلیه بزرگتر و نیز حمل مواد در فاصله طولانی تر به محل انجام فرآیند، بازیافت و یا محل دفع به کار گرفته می شود. پردازش به هرگونه روش یا سیستمی اطلاق می شود که موجب تغییر شکل فیزیکی یا شیمیایی پسماند جامد شود. پردازش و بازیافت پنجمین مرحله مدیریت پسماند جامد شهری را تشکیل می دهد. عملیات پردازش می تواند در دیگر مراحل مدیریت مانند تولید و جمع آوری انجام شود. انتخاب روش پردازش و بازیافت بستگی به اهداف سیستم مدیریت پسماند جامد و روش های دفع نهایی دارد. در مرحله دفع نهایی، پسماندها یا در محل هایی از پیش تعیین شده دفن شده و یا سوزانده می شوند. در این مرحله در نظر گرفتن فاکتورهای زیست محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است.

بر اساس آخرین آمارهای موجود میزان پسماندهای تولید شده در تهران طی ۱۵ سال اخیر روندی صعودی داشته و پسماند تولید شده در سال ۱۳۸۴ به میزان ۲۶۲۶۵۱۹ تن بوده که از این میزان ۲۵۷۰۹۸۸ تن آن مربوط به پسماندهای شهری می باشد .

(Mahdavi Damghani, A., Savarypour, G., Zand, E., Deihimifard, R. 2007, text). هر

شب از ۲۲ منطقه تهران بزرگ با ۱۲۸ ناحیه و ۳۷۱ محله با جمعیتی حدود۸ میلیون نفر ۷۰۰۰ تن پسماند تولید شده که توسط ۳ نوع ماشین با ظرفیت های گوناگون از کنار خانه ها جمع آوری و به ایستگاههای میانی منتقل می شود. در این ایستگاههای میانی، پسماند از ماشین های جمع آوری تخلیه و در سمی تریلرها بارگیری و به سمت محل دفع در جنوب تهران (منطقه کهریزک) حمل می شود. هر ناحیه شهرداری تهران شامل مخازن ۹۰ کیلوگرمی (۶۶۰ لیتری) است که این مخازن در معابر درجه ۱ و۲ (خیابانها و کوچه های اصلی) به گونه ای نصب می شوند تا بصورت متوسط شعاع ۱۵۰ متر را پوشش دهند. (میزان تراکم جمعیت در هر محله نیز در تعیین این فاصله در نظر گرفته می شود) با توجه به تناژ تولید پسماند هر ناحیه شهرداری در شبانه روز و ظرفیت ماشین ها تعداد ماشین مورد نیاز برای جمع آوری آن ناحیه اختصاص داده می شود.

روش تحقیق

باید توجه داشت که کاهش هزینه های کلی مدیریت پسماند های شهری از طریق بهبود در عملکرد سیستم های جمع‌آوری تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های کلی مدیریت پسماندهای شهری خواهدداشت که این امر می‌تواند از طریق کاهش مسافت های طی شده توسط ماشین های جمع آوری پسماند که منجر به کاهش هزینه های سوخت مصرفی و استهلاک می شود انجام پذیرد .

بنابراین در این مقاله پیرو همین بحث ، بصورت جمع آوری منابع به روش کتابخانه ای پرداخته شده و با تعریف مسأله و محدودیت های آن، یک مدل ریاضی ارائه شده است، در ادامه الگوریتم ابتکاری برای کاهش مسیر های جمع آوری ارائه شده و در نهایت برای تعیین صحت عملکرد الگوریتم در مقایسه با دنیای واقعی، این الگوریتم برای سه ناحیه مختلف در منطقه ۲ شهرداری تهران اجرا شده است و برتری این الگوریتم نسبت به عملکرد دنیای واقعی که مبتنی بر تجربیات خبرگان این بخش است نشان داده شده است.

مساله بهینه سازی مسیر حرکت ماشین‌های جمع آوری پسماند

بطور کلی کاهش مسافت طی شده در فرآیند جمع آوری شامل مسایل مسیریابی می گردد و با توجه به اینکه ظرفیت ماشین های جمع آوری پسماند محدود است می‌توان مساله را از نوع مسایل مسیریابی مسیرهای ظرفیت دار[1] دانست. این نوع از مسائل به صورت گرافی شامل مجموعه ای از نقاط (نقاط سرویس دهی) و یال های (مسیرها) آن تعریف می شوند که یال های گراف دارای تقاضا بوده و می‌بایست به گونه ای به تقاضای آنها پاسخ داده شود تا مجموع هزینه‌های پیمایش مسیر حداقل گردد. این نوع از مسائل NP-hard بوده و روش های دقیق فقط قادر به حل این مسائل با اندازه کوچک هستند (Chu, F. Labadi, N. and Prins C. 2004, 586–605) که برای حل مسائل با اندازه بزرگتر روش های ابتکاری در دهه ۸۰ ارائه شد. (Boding, L., Golden, B., Assad, A., 1983, 63 – 111) مدیریت پسماندها نیز به دنبال یافتن مسیرهایی است که تا حد امکان سودآور و کارآ باشند. مدیران در این بخش هم خواستار کاهش هزینه های عملیاتی، شامل هزینه های ثابت وسائط نقلیه، هزینه های متغیر وسائط نقلیه و هزینه های نیروی کار هستند. یکی از راه های کاهش این هزینه ها از طریق کاهش مسافت طی شده

[1] Capacitated Arc Routing Problem (CARP)

توسط این وسائط نقلیه است. این نوع از مسایل در ادبیات غالباً تحت عنوان "مساله های مسیریابی ماشین ها[1]" معرفی می شوند. در این نوع مسایل با استفاده از بعضی منابع (وسیله نقلیه، زمان، ...) و وجود بعضی محدودیت ها (ظرفیت بار وسیله نقلیه، شیفت های کاری، ...)، ماشین های جمع آوری می بایست از یک نقطه شروع کرده و با خدمت دهی در تمام نقاط یا مسیرهای تعیین شده از شبکه و با در نظر گرفتن هدف از پیش تعیین شده (مثل حداقل هزینه یا کوتاهترین مسافت)، در نهایت به نقطه شروع بر گردند. به دلیل اینکه محل های خدمت دهی می توانند هم بوسیله نقطه و هم بوسیله مسیر نمایش داده شوند، لذا می توان مسایل مسیریابی را بصورت زیر طبقه بندی کرد:

مسایل پوشش نقاط[2]: هدف از این گونه مسایل خدمت دهی به کلیه نقاط تعیین شده در شبکه و در عین حال در نظر گرفتن هدف های بهینه سازی می باشد.

مسایل پوشش مسیرها[3]: هدف از این گونه مسایل خدمت دهی از طریق کلیه مسیرهای تعیین شده در شبکه و در عین حال در نظر گرفتن هدف های بهینه سازی می باشد (Lee, T. and Veng, j. 1999, 646 – 658).

بدین و همکارانش (Boding, L., Golden, B., Assad, A 1983, 63 – 111) مساله مسیریابی ماشین را به هفت دسته تقسیم بندی کرده اند:

۱- فروشنده دوره گرد[4](محمد رضا مهرگان ، ۱۳۸۱، ۴۹۶-۴۹۳)
۲- فروشنده های دوره گرد[5]
۳- ایستگاه خدمت دهی و مسیر یابی ماشین ها
۴- ایستگاه های خدمت دهی و مسایل مسیریابی ماشین ها
۵- ایستگاه خدمت دهی و مسیریابی ماشین ها با تقاضای تصادفی
۶- پستچی چینی[6]
۷- پستچی چینی با قیود ظرفیت[7]

علاوه بر هفت دسته بندی ذکر شده، در عمل انواع دیگری از مسایل مسیریابی به دلیل تفاوت در ویژگی ها و اهداف اینگونه مسایل ظهور کردند. چیو و چن (Chyu, C.and Chen, J.-D. 1996, 61–70) الگوریتم ابداعی برای مدیریت مواد/مسیریابی ماشین بین ایستگاههای کاری طراحی کردند. ویس واناتان و ماتور (Viswanathan, s. and mathur, 1997, 15 – 30) انبارداری را همراه با مسایل مسیریابی برای طراحی سیستم لجیستیک در نظر گرفتند. لی و همکارانش (Lee, T. – R., hung, M. L. and Liang, k. 1997, 15–30) و لی و یونگ (Lee, T. – R. and Ueng, J. – H. 1998, 197 – 210) تئوری کوتاه ترین مسیر را برای مسایل مسیریابی در نظر گرفتند. بعلاوه لی و یونگ (Lee, T. – R. and Ueng, J. – H. 1997, 147 – 60) مساله مسیریابی را درسیستم توزیع خانه به خانه در یک سوپر مارکت با تعیین مسیر بهینه برای رسیدن به حداقل

[1] Vehicle Routing Problem (VRP)
[2] node covering problem
[3] arc covering problem
[4] single traveling salesman problems
[5] multi-travel salesmen problems
[6] Chinese postman problems
[7] Chinese postman problem with load constraints

هزینه های توزیع بررسی کردند.

مسایل مسیریابی که شامل تعیین توالی مسیرها برای روزهای یک دوره زمانی برنامه ریزی شده می باشد در ادبیات تحت عنوان PVRP[1] خوانده می شود. PVRP به دلیل نیاز به انتصاب مشتریان به روزها و هم چنین انتصاب مشتریان هر روز به هر ماشین، تحت عنوان مسایل تخصیص–مسیریابی نیز خوانده می شود. (Lee, T. – R. and Ueng, J. – H. 1997, 147 – 60). PVRP بطور رسمی توسط کریستوفایدز و بیزلی (Chvistofides, N., Beasley, J. 1984, 237 – 256) به عنوان بسطی از مسایل مسیریابی ماشین تعریف شد. عموماً هدف PVRP حداقل کردن مسافت طی شده در طول دوره زمانی برنامه ریزی با در نظر گرفتن ظرفیت ماشین ها و محدودیت های زمانی مسیرها برای مسیریابی روزانه می باشد. بعضی از اولین کاربردهای PVRP در جمع آوری پسماند می باشد (Beltrami, E., Boding, L. 1974, 65–94) و (Russell, R., Igo, W. 1979, 1–17). برای بهبود عملکرد PVRP، الگوریتم هایی توسط کوردو و همکارانش (Cordeau, J. – F., Gendreau, M., Laporte, G. 1997, 105 – 119) و دورموند و همکارانش (Durmmond, L., Ochi, L., Vianna, D. 2001, 379 – 386) بر اساس tabu search و الگوریتم های ژنتیک توسعه داده شده اند.

PCARP برای مدت طولانی در مقایسه با مسایل مشابه مسیریابی چند دوره ای بوسیله نقاط (PVRP) مورد توجه چندانی قرار نگرفته است. حتی می توان گفت ادبیات موجود در خصوص مسایل چند دوره ای چندان زیاد نمی‌باشد. قیانی (Ghiani, G. Musmanno, R., Paletta, G., Triki, C. 2005, 219 - 228) روی مسأله دوره ای پستچی روستایی (periodic rural postman problem) کار کرد. در یک مقاله دیگر لاکوم (Lacomme, P., Prins, C. Ramdane – Cherif. W. 2002, 845 – 852) نسخه های مختلف، گونه شناسی مسایل PCARP را همراه با پیشنهاد یک الگوریتم ژنتیک برای حل مساله بدون نتایج عددی ارائه نمود.

مساله‌های PCARP یک تعمیم چند دوره‌ای از CARP بوده و به این دلیل مورد توجه قرار گرفتند که یال‌های گراف در بسیاری از کاربردهای واقعی به ندرت نیاز به سرویس دهی روزانه دارند. به طور مثال در جمع آوری پسماند، تولید پسماند در یک خیابان به عوامل متعددی مانند تراکم جمعیت آن بخش بستگی دارد. وقتی که نرخ تولید هم زیاد مهم نباشد، جمع آوری روزانه پسماندها می‌تواند بسیار هزینه بر بوده و شهرداری جمع آوری دوره‌ای را ترجیح دهد (Chu, F., Labadi, N., Prins, C. 2003, 27).

در مسایل کلاسیک مسیریابی ماشین، مسیرهای چندین ماشین را با حداقل هزینه تعیین می کردند، که هر کدام از یک نقطه اولیه[2] شروع شده، تعدادی نقاط را طی کرده و در نهایت به همان نقطه اولیه باز می گشتند. بر طبق گفته های بدین و گلدن (Boding, L. Golden, B. 1981, 97 – 108) مسایل مسیریابی ممکن است دارای ویژگی‌های گوناگونی بسته به ماهیت هر کاربرد باشند. مثال های این ویژگی ها شامل تعداد ناوگان حمل ونقل موجود، تعداد ایستگاه ها و انواع عملیات می باشند.VRSP[3] به عنوان بسطی از مسایل مسیریابی با لحاظ کردن قیود زمانی مانند بازه های زمانی توقف[4]، محدودیت زمان کلی و حق تقدم در ارائه خدمت در نظر گرفته می شود. سولومون

[1] Periodic Vehicle Routing Problem
[2] depot
[3] Vehicle Routing Scheduling Problem
[4] time windows

(Solomon, M. m. 1987, 25 u – 262) یک مجموعه مسایل مرتبط با مسایل مسیریابی با قید توقف های زمانی پیشنهاد داده است و مطالعات محاسباتی چندین الگوریتم ابتکاری را برای حل این مجموعه انجام داده است. تایلارد و همکارانش (Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F. and Potvin, J. 1997, 170 -186) مساله مسیریابی ماشین را با استفاده چند گانه از ماشین در نظر گرفتند، بدین صورت که مسیرهای متعدد را می توان بوسیله یک ماشین در طول دوره برنامه ریزی خدمتدهی نمود. آنها یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای tabu search ابتکاری را برای حل مساله ارائه کردند.

البته می بایست این نکته مورد توجه قرار گیرد که CARP برای مدلسازی شبکه واقعی خیابان های شهر و برای حل مسایلی مانند جمع آوری پسماند مدلی ساده است. بدین معنی که گراف بدون جهت آن فقط می تواند خیابان های دو طرفه را، که هر دو طرف آن بصورت موازی و در هر جهت دلخواهی جمع آوری می گردد، مدلسازی کند. حتی اگر این امر برای بخش های کم ترافیک مقدور باشد، شبکه واقعی خیابان های شهری شامل خیابان دو طرفه ای است که دو طرف آن از هم مستقل بوده و هر کدام یک طرفه می باشند. این گونه نواقص را می توان با بسط دادن CARP بوسیله یک گراف مختلط[1] انجام داد که در نهایت منجر به مساله جدیدی به نام MCARP خواهد شد. (Belenguera, J., Benaventa, E., Lacomme, P. and Prins, C. 2006, 3363 – 3383)

بخش عمده ای از هزینه های جمع آوری پسماند هزینه های عملیاتی شامل هزینه سوخت مصرفی ماشین های جمع آوری پسماند، هزینه نگهداری و هزینه نیروی انسانی می باشد. بنابراین هدف از طرح این مساله تعیین مسیر حرکت ماشین های جمع آوری پسماند به گونه ای است که :

۱- مجموع مسافت طی شده در کل ناحیه کاهش یافته که در نهایت می تواند منجر به کاهش مصرف سوخت، استهلاک ماشین و همچنین زمان جمع آوری شود.

۲- مسیرها به گونه ای تعیین شوند تا هر ماشین در طول مسیر با توجه به ظرفیت خود بیشترین مقدار را جمع آوری کرده و سپس به سمت ایستگاه میانی برای تخلیه برود.

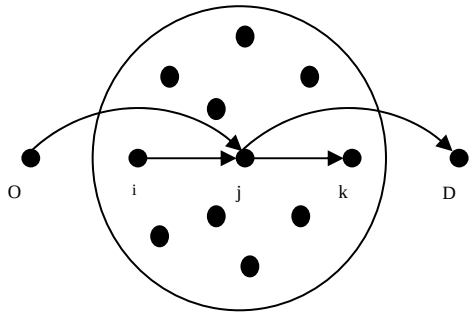
- **شرح محدودیت ها و فرضیات:**

تابع هدف در این مساله به حداقل رساندن طول مسیرهای پیموده شده توسط ماشین های جمع آوری پسماند می باشد. هم چنین می توان هزینه های مرتبط با فرآیند جمع آوری مثل هزینه سوخت و استهلاک را نیز وارد تابع هدف کرد که در این مقاله از انجام آن صرفنظر می شود. محدودیت های موجود در این مساله که در ادامه بصورت ریاضی معرفی خواهند شد شامل دو محدودیت اصلی می باشد: محدودیت ۱، بیان کننده ظرفیت محدود ماشین های جمع آوری پسماند می باشد. هم چنین با توجه به ثابت بودن میزان ظرفیت هر ماشین و تعداد آنها، می توان فرض ثابت بودن نرخ تولید پسماند توسط خانوارها را نیز بطور ضمنی در این محدودیت دید. محدودیت های ۲، ۳ و۴ نیز این اطمینان را می دهند که هر یک از نقاط موجود در هر بخش بوسیله یک مسیر پیوسته به هم متصل و توسط یک ماشین پیموده می شوند. محدودیت های ۲ و۳ بیانگر پیوستگی مسیرها و محدودیت ۴ نیز بیانگر این است که از هر مسیر تنها یک ماشین گذر می کند.

[1] mixed graph

- **مدل ریاضی مساله**

هر بخش را می توان مطابق(شکل شماره ۱) نمایش داد، که در آن نقاط i، j و k نشان دهنده نقاط داخلی (مخازن هر بخش) بوده و نقاط O و D به ترتیب نشان دهنده دپو (و یا نقطه پایانی مسیر از بخش همسایه) و ایستگاه میانی (و یا نقطه ابتدایی مسیر از بخش همسایه) باشند. هم چنین این نقاط می توانند نشان دهنده نقاط همسایگی اطراف نیز باشند. دو کمان ورودی به مخزن j نشان دهنده این واقعیت است که ماشین جمع آوری کننده پسماند این مخزن، بدون واسطه از دپو یا از مخزنی دیگر (i) به این نقطه می آید. کمان های خروجی از j به طور مشابه نشان می دهند که ماشین پس از تخلیه مخزن j یا به نقطه مجاور دیگر عزیمت می نماید و یا ظرفیت آن تکمیل بوده و به ایستگاه میانی می رود. در این مساله فرض می شود که فقط یک دپو (O) و یک ایستگاه میانی (D) برای پشتیبانی عملیات در ناحیه وجود دارد که به عنوان نقاط ابتدایی و انتهایی عملیات جمع آوری بکار می روند.



شکل شماره ۱- نمایش شماتیک موقعیت سطل های پسماند

بدین ترتیب برای ساخت مدل ریاضی متغیر تصمیم گیری مطابق زیر تعریف گردیده است:

$$X_{ijt}=\begin{cases}1 & \text{ماشین } t \text{ از مخزن } i \text{ به مخزن } j \text{ می رود.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

$$X_{Ojt}=\begin{cases}1 & \text{ماشین خالی } t \text{ از دپوی } O \text{ آمده و از مخزن } j \text{ شروع به جمع آوری کند.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

$$X_{iDt}=\begin{cases}1 & \text{ماشین } t \text{ در مخزن } i \text{ جمع آوری را به اتمام برساند و به نقطه میانی } D \text{ می رود.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

پارامترهای این مدل بدین ترتیب تعریف می شوند:

O: نقطه شروع

D: دپو یا نقطه پایانی

M: تعداد ماشین های جمع آوری

d_{ij}: هزینه پیمایش از نقطه i به نقطه j

N: تعداد مخازن موجود در هر ناحیه

C_t: ظرفیت ماشین های جمع آوری

بنابراین با توجه به این تعریف تابع هدف به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Min}\ (\sum_i\sum_j d_{ij}\sum_t X_{ijt} + \sum_t\sum_j X_{Ojt}.d_{Oj} + \sum_t\sum_i X_{iDt}.d_{iD}\ ) \qquad \text{dij میزان هزینه یا مسافت هر مسیر}$$

s.t.

$$\sum_i \sum_j X_{ijt} = C_t \qquad \forall\ t = 1, \dots, M \text{ and } i \neq j \qquad (1)$$

$$\sum_t(\sum_i X_{ijt} + X_{Ojt}) = 1 \qquad \forall\ i,j=1,\dots,N \text{ and } i \neq j \qquad (2)$$

$$\sum_t(\sum_k X_{jkt} + X_{jDt}) = 1 \qquad \forall\ j=1,\dots,N \text{ and } i \neq j \qquad (3)$$

$$\sum_i X_{ijt} + X_{Ojt} = \sum_k X_{jkt} + X_{jDt} \qquad \forall j=1,\dots,N \text{ and } \forall t=1,\dots,M \qquad (4)$$

- **پیچیدگی حل مساله**

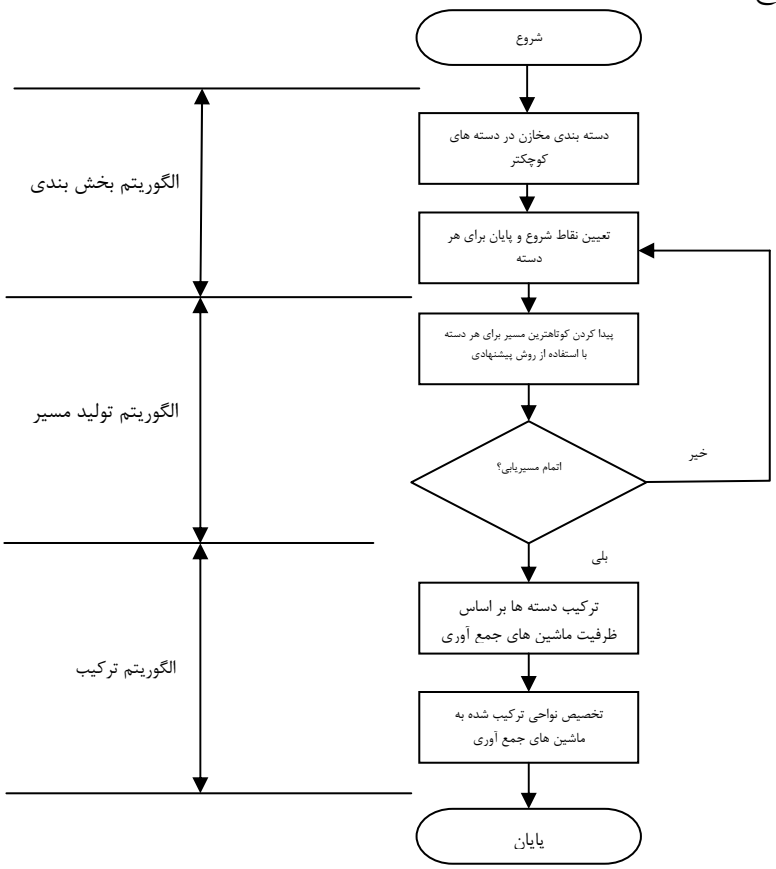
مدل ریاضی این مساله از نوع برنامه ریزی عدد صحیح با سه نوع متغیر تصمیم گیری و چهار نوع محدودیت می باشد. با فرض اینکه منطقه مورد بررسی دارای ۵۰۰ مخزن و ۵ ماشین جمع آوری باشد، مساله دارای۱,۲۵۵,۰۰۰ متغیر تصمیم گیری و ۲,۵۰۵,۰۰۰ محدودیت می شود که تعداد قابل توجهی است. بعلاوه مدلسازی ریاضی بعضی محدودیت ها (مانند یکطرفه بودن خیابان ها، بن بست ها و بلوارها) با استفاده از روش های کلاسیک را امکان پذیر نیست. بنابراین حل این مساله با استفاده از روش های کلاسیک برای یافتن جواب کاربردی در مدت زمان کوتاه و منطقی امکان پذیر به نظر نمی رسد، لذا با هدف دستیابی به جواب بهتر از وضعیت کنونی و قابل استفاده در دنیای واقعی، در این مقاله یک الگوریتم ابتکاری که توسط نویسندگان مقاله طراحی شده است معرفی می گردد.

با توجه به ظرفیت ماشین ها و حجم مخازن (در این تحقیق به دلیل اینکه مخازن معمولاً بطور کامل پر نمی‌شوند ۸۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است)، می توان نتیجه گرفت که کوچکترین ماشین جمع آوری با ظرفیت ۳ تن می تواند محدوده ای با ۴۰ مخزن را پوشش دهد. اگر با استفاده از ماشین های ۶ و ۹ تنی اقدام به جمع آوری گردد می توان بخش هایی به ترتیب با ۸۰ و ۱۲۰ مخزن را پوشش داد. با توجه به این شرط که تمام مخازن باید چک شوند و در نظر گرفتن این نکته که تعداد پردازش هایی که می بایست برای هر بخش این مساله صورت پذیرد در صورت افزایش تعداد مخازن هر بخش بصورت توانی رشد می کند، می توان نتیجه گرفت که حل این مساله برای این تعداد نقطه بسیار زمان بر خواهد بود. در این الگوریتم با شکاندن دسته های ۴۰ تایی مخازن به دسته های ۱۰ تایی، زمان حل مساله بطور چشمگیری کاهش یافته است. مناسب ترین مسیرهای یک دسته ۴۰ تایی مخازن را با ترکیب مسیرهای بدست آمده در تقسیم بندی های ۱۰ تایی می توان بدست آورد. هم چنین با استفاده از این روش می توان با ترکیب این دسته های ۱۰ تایی، برای ماشین های با ظرفیت بالاتر(۸۰ تایی و ۱۲۰ تایی) نیز مناسب ترین مسیرها را پیدا کرد.

روش پیشنهادی برای حل مساله

مراحل اصلی روش حل پیشنهادی در (شکل شماره ۲) آمده است و در ادامه هر یک از مراحل در قالب الگوریتم

های مربوط به آن توضیح داده شده است



شکل شماره ۲- گام های حل مساله در شیوه پیشنهادی

الگوریتم بخش بندی: (Zoning Algorithm)

در این الگوریتم، با توجه به ظرفیت محدود ماشینهای جمع آوری پسماند، هر ناحیه شهرداری به تعدادی بخش با تعداد مخازن مشخص تقسیم بندی می شود. با توجه به اینکه ماشین های جمع آوری پسماند دارای سه ظرفیت مختلف ۳، ۶، ۹ تنی بوده و همچنین با در نظر گرفتن میزان متوسط پسماند هر مخزن به اندازه ۸۰ kg و ظرفیت کوچکترین ماشین جمع‌آوری، حداقل محدوده‌ای که کوچکترین ماشین جمع آوری می‌تواند پوشش دهد محدوده‌ای با ۴۰ مخزن می باشد. ولیکن به این دلیل که مساله مسیریابی از نوع مسائل NP-hard بوده و زمان حل آن با افزایش اندازه مساله (افزایش تعداد نقاط) به صورت نمایی افزایش می یابد، بنابراین برای کاهش زمان حل برای یک بخش ۴۰ مخزنی، بخش ها به دسته های ۱۰تایی تقسیم بندی می شود. در این مرحله بخش ها و نقاط همسایه نیز به صورت تعاملی[1] توسط کارشناس تعریف می گردند، بدین صورت که کاربر می تواند با کلیک بر روی نقشه محل مخازن را مشخص کند و با اجرای برنامه کامپیوتری دسته بندی هر ناحیه به بخش های کوچکتر با ۱۰ مخزن انجام می پذیرد. این تقسیم بندی بر اساس همسایگی نقاط (مخازن) موجود در هر ناحیه صورت می گیرد. در این تحقیق بخش ها/ نقاطی به عنوان همسایه شناخته می شوند که از بخش / نقطه مورد بررسی به آنها مسیری در دنیای واقعی وجود داشته باشد. نقاط دارای همسایگی در هر بخش به عنوان نقاط مرزی و کاندیدای نقاط شروع و پایان آن

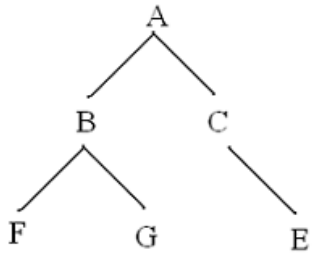
[1] interactive

بخش تعیین می گردند. در نهایت بخش های کوچکتر توسط رنگ های متفاوت مخازن آنها برای کاربر مشخص می گردند. همچنین باید اشاره کرد که مشارکت کاربر دراین مرحله و درک مناسب کاربر ازچگونگی مدلسازی و شیوه حل مساله، به موفقیت در پیاده سازی آن کمک می کند. (Render, b. Stair, R. and Hanna, M. 2006, 21)

الگوریتم تولید مسیر (Route Generating Algorithm)

پس از تعریف بخش‌ها و تعیین نقاط کاندیدای شروع و پایان برای هر بخش در الگوریتم قبلی، الگوریتم تولید مسیر کوتاهترین مسیر برای هر زوج نقطه کاندیدای شروع و پایان در هر بخش ۱۰ تایی را تعیین می نماید. این الگوریتم به شرح زیر می باشد:

در ابتدا یکی از نقاط کاندیدای شروع در یک بخش انتخاب می شود و تمامی همسایگی های آن نقطه شناسایی می گردد و در ماتریس همسایگی ذخیره می گردد. در ادامه این روند برای تمام نقاط کاندیدای شروع و در تمام بخش ها انجام می پذیرد. به عنوان مثال با فرض اینکه نقاط B,C همسایه های نقطه A، باشند و نقطه E همسایه نقطه C بوده و نقاط F,G همسایه های نقطه B باشند، آنگاه نمودار درختی این روند مطابق شکل زیر خواهد بود:



شکل شماره ۳- نمودار درختی همسایگی نقاط

برای تولید مسیر، از تمام نقاط کاندیدای شروع، مسیر آغاز گشته و با توجه به ماتریس همسایگی ادامه می یابد. تولید هر مسیر تا جایی ادامه می یابد که یکی از شرایط زیر حاصل شود:

- هرگاه به یکی از نقاط پایانی برخورد گردد کل مسیر مورد بررسی قرار می گیرد که آیا تمامی مخازن آن بخش چک شده اند یا خیر؟ اگر اینطور نبود حل این مسیر را ادامه دهد ولی اگر تمامی مخازن آن بخش چک شده بودند این مسیر را به عنوان یک مسیر معتبر ذخیره می گردد.
- هرگاه طول مسیر ۲/۵ برابر تعداد نقاط داخل بخش گردد ولیکن هنوز به هیچ نقطه پایانی نرسیده باشد آن مسیر حذف می گردد.
- هرگاه مسیر تکراری مانند ABAB, ABCABC, ABCDABCD, ABCDEABCDE تولید شود آن مسیر حذف می گردد.
- هرگاه مسیر دوباره به نقطه شروع رسید با شرط آنکه طول مسیر بیشتر از دو برابر تعداد نقاط داخل بخش بود آن مسیر حذف می گردد ولیکن اگر اینگونه نبود آن مسیر ادامه می یابد.

در نهایت این الگوریتم پس از پیدا کردن تمامی مسیرهای معتبر برای هر زوج نقاط شروع و پایان درون هر بخش، با مقایسه مسیرهای تولید شده بر اساس شاخصی که از پیش تعریف می گردد (مثلاً مسافت)، مناسب ترین

مسیرها را پیدا می کند. سرانجام مجموعه ای از مناسب ترین مسیرها برای تمامی بخش ها بدست آمده و در یک پایگاه داده ذخیره می گردد.

الگوریتم ترکیب (Combination Algorithm)

در این الگوریتم دسته های ۱۰ مخزنی ایجاد شده در مرحله قبل به یکدیگر چسبانده می شوند. با توجه به میزان متوسط پسماندهای هر مخزن معادل ۸۰ کیلوگرم و ظرفیت ماشین های جمع آوری که معادل ۳، ۶ و ۹ تن می باشند، ماشین ها می توانند بخش هایی با تعداد مخازن به ترتیب برابر با ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ را جمع آوری کنند. بنابراین ترکیب دسته های ۱۰ مخزنی در قالب رشته های ۴ ،۸ و ۱۲ خانه ای صورت می پذیرد که هر خانه نمایانگر یک مسیر درون یک بخش می باشد. هم چنین لازم به ذکر است که ماشین های با حجم بیشتر به دلیل کمتر بودن تعداد دفعات تخلیه در ایستگاه های میانی، مسافت کمتری را پیموده و در نتیجه هزینه های کمتری را شامل می شوند. روش ترکیب این دسته های ۱۰ مخزنی همانند روش درختی است که در قسمت قبل توضیح داده شد، با این تفاوت که طول رشته های ترکیب ثابت بوده (۴، ۸ و۱۲ خانه) و پایان ترکیب بخش ها زمانی است که خانه های رشته تکمیل گردد. باید به این نکته اشاره کرد که برای بدست آوردن کل مسیر، این دسته ها به گونه ای به هم پیوند می یابند که نقطه پایان یک مسیر و نقطه شروع مسیر بعدی در همسایگی یکدیگر باشند. این فرآیند از ترکیبات ۱۲ تایی شروع گشته و سپس ترکیبات ۸ تایی و ۴ تایی مورد بررسی قرار می گیرد (چون ترکیبات ۱۲ تایی کمترین هزینه را به خود اختصاص میدهند و این هزینه به ترتیب برای ترکیبات ۸ و ۴ تایی افزایش پیدا می کند) و سر انجام در میان این ترکیبات، ترکیبی که در مجموع کوتاهترین مسافت را دارد انتخاب می گردد.

ارزیابی روش حل پیشنهادی

- **معرفی مساله حل شده برای یکی از بخش های شهر تهران**

در این قسمت محدوده ای از شهر تهران که الگوریتم پیشنهادی برای آن حل شده معرفی می گردد و سپس عملکرد الگوریتم با حل تجربی در دنیای واقعی مورد مقایسه قرار می گیرد. لازم به ذکر است که روش تجربی که هم اکنون مورد استفاده قرار می گیرد نتیجه تعامل پیشنهادات سازمان خدمات موتوری و تجربه رانندگان ماشین های جمع آوری می باشد، که با هدف حداقل کردن میزان هزینه ها طراحی گردیده است. جمع آوری پسماند در تهران به دو صورت انجام می شود: سازمان خدمات موتوری مستقیماً پسماند برخی از مناطق را جمع آوری می نماید و در تعدادی از مناطق دیگر این امر را به شرکت های پیمانکار واگذار نموده است. از آنجا که پرداخت هزینه جمع آوری بر اساس میزان پسماند صورت می گیرد، افزایش طول مسیر جمع آوری مزیتی را برای انجام دهندگان آن به همراه ندارد. بالعکس طراحی مسیرهای مناسب حتی به صورت دستی و تجربی چنانچه درآمدی را به همراه نداشته باشد، از سختی کار ممکن است بکاهد. در نتیجه می توان ادعا نمود شیوه کنونی جمع آوری پسماند می تواند مبنای خوبی برای ارزیابی کیفیت جواب حاصل از روش پیشنهادی برای حل مسائل در ابعاد واقعی باشد. برای حصول اطمینان از قابلیت اتکای جواب های بدست آمده از روش پیشنهادی این مساله برای سه ناحیه (نواحی ۱، ۳ و ۴) از

شهرداری منطقه ۲ تهران حل می شود. جدول شماره ۱ مشخصات نواحی مورد بررسی نشان می دهد: (به ضمائم ۱ و ۲ مراجعه شود.)

جدول شماره ۱- مشخصات نواحی مورد بررسی

	شماره ناحیه	مساحت(km^2)	درصد مساحت از منطقه ۲	تعداد مخازن	میزان تخمینی پسماند (تن)	جمعیت (نفر)
P_1	۱	۱۱/۵	۱۸	۴۰۰	۳۲	۹۸۵۵۸
P_2	۳	۴/..	۶/۲۵	۲۱۰	۱۶/۸	۳۴۲۶۱
P_3	۴	۲/۲۷	۳/۰۰	۱۸۵	۱۴/۸	۱۹۴۵۴
جمع	-	۱۷/۷۷	۲۷/۲۵	۷۹۵	۶۳/۶	۱۵۲۲۷۳

- **مقایسه عملکرد الگوریتم با روش حل تجربی استفاده شده در دنیای واقعی**

نتایج حاصل از این دو الگوریتم در قالب شاخص های زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

۱- *مسافت طی شده در یک سال*: با استفاده از این شاخص، طول کل مسیر پیموده شده در یک سال در دنیای واقعی با طول کل مسیرهای بدست آمده توسط هر کدام از الگوریتم ها مورد مقایسه قرار می گیرد. در نهایت در صد بهبود این شاخص توسط این الگوریتم بیان می گردد.

۲- *میزان سوخت مصرفی در یک سال*: اگر میزان متوسط تخمینی مصرف سوخت وسایط نقلیه سنگین ۴۰ لیتر به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر باشد، می توان با توجه به میزان کاهش در مسافت پیموده شده، مقدار کاهش سوخت مصرفی را نیز محاسبه نمود.

(جدول شماره ۲)نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی را در مقایسه با حالت واقعی برای این دو شاخص نشان می دهد:

جدول شماره ۲- مقایسه نتایج حاصل از روش ابتکاری در مقایسه با دنیای واقعی

	مسافت پیموده شده در یک سال (کیلومتر)				سوخت مصرفی در یک سال (لیتر)		
	دنیای واقعی	روش پیشنهادی	میزان بهبود	درصد بهبود	دنیای واقعی	روش پیشنهادی	میزان بهبود
P_1	۵۴۲۷۱	۵۰۷۸۱	۳۴۹۰	۶.۵	۲۱.۷۰۸	۲۰.۲۹۷	۱.۴۱۱
P_2	۱۸۷۱۴	۱۷۶۱۰	۱۱۰۴	۵.۹	۷.۴۸۶	۷.۰۴۳	۴۴۲
P_3	۱۴۹۲۴	۱۳۸۳۵	۱۰۹۰	۷.۳	۵.۷۹۰	۵.۵۳۴	۴۳۶

با توجه به اینکه مخازن با رعایت فواصل ۱۵۰ متری در سطح شهر نصب می شوند. بنابراین پراکندگی تقریباً یکسانی در سراسر شهر خواهند داشت. با توجه به این فرض که میزان متوسط پسماند در هر مخزن ۸۰ کیلوگرم باشد می توان میزان پسماند تولید شده در سه ناحیه مورد بررسی را بدست آورد، از سوی دیگر با در نظر گرفتن میزان پسماند تولید شده در سراسر تهران در هر شبانه روز (۶۷۷۵ تن) (http: // www. Tehran . ir / Link click. aspx ? fileticket = gx104k7hybs%3d&tabid = 7754&mid = 1418)، می توان مقدار تخمینی هر یک از شاخص های مطرح شده را برای کل تهران محاسبه نمود:

نسبت پسماند تولید در کل تهران به نواحی مورد بررسی = $\frac{\text{۶۷۷۵}}{\text{۶۳۱۶}}$=۱۰۷

در نتیجه مقدار تخمینی شاخص های مسافت و سوخت مصرفی برای کل تهران به صورت زیر خواهد بود:

کیلومتر ۶۰۸۱۸۸ = ۱۰۷ × (۳۹۴+۱۱۰۴+۱۰۹۰) = ۱۰۷ × میزان بهبود در نواحی مورد بررسی = میزان بهبود مسافت طی شده در تهران

لیتر ۲۴۴۹۲۳ = ۱۰۷ × (۱۴۱۱+۴۴۲+۴۳۶) = ۱۰۷ × میزان بهبود در نواحی مورد بررسی = میزان بهبود سوخت مصرفی در تهران

۳- *هزینه نیروی کار و خریداری ماشین*: اگر سرعت متوسط ماشین های جمع آوری ۵ کیلومتر بر ساعت فرض شود، با توجه به مقدار کاهش مسافت طی شده در سال، می توان میزان صرفه جویی در ساعات کاری ماشین ها را محاسبه نمود که برابر با ۱۲۱،۶۳۸ ساعت در سال می گردد. حال اگر فرض شود که به هر ماشین ۴ نفر نیروی کار تخصیص یافته باشد، میزان صرفه جویی ۴۸۶،۵۵۰ نفر ساعت در سال می گردد. از آنجا که هر نفر نیروی کار حدوداً ۱۴۴ ساعت در ماه کار می کند میزان ساعات کاری هر نفر در سال ۱۷۲۸ ساعت می شود، در نتیجه می توان ۲۸۲ نفر نیروی کار صرفه جویی نمود. اگر متوسط هزینه های هر نفر برای سازمان ۶۰ میلیون ریال در سال باشد، مقدار صرفه جویی در هزینه های نیروی کار برابر با ۱۶،۹۲۰ میلیون ریال می گردد.

از سوی دیگر با توجه به اینکه به ازای هر ماشین ۴ نیروی کار تخصیص یافته، میزان صرفه جویی در تعداد ماشین های جمع آوری نیز برابر با ۷۰ عدد ماشین می گردد که با فرض عمر مفید ۱۰ سال برای هر ماشین، کاهش هزینه خرید ماشین معادل با ۷۰۰۰ میلیون ریال می شود.

۴- کاهش آلاینده های زیست محیطی: با فرض سوخت دیزل برای ماشین های جمع آوری و درون شهری بودن مسیرهای جمع آوری، ضریب آلایندگی این ماشین ها برابر با ۱۱/۵۷ گرم بر مایل معادل $۶/۲۷\times۱۰^{-۷}$ تن بر کیلومتر می گردد. (URL: http://www.Fhwa.Dot.gov/environment/freightaq/appendixb.htm) با توجه به اینکه میزان کاهش مسافت در طول یک سال برابر با ۶۰۸۱۸۸ کیلومتر می باشد، میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی برای کل شهر تهران در حدود ۴۰۰ کیلوگرم در سال می باشد.

میزان بهبود هر یک از شاخص ها و مقدار صرفه جویی ریالی ناشی از آنها برای شهر تهران بطور خلاصه در (جدول شماره ۳) ارائه می شود:

جدول شماره ۳- میزان تخمینی بهبود شاخص ها در سال توسط روش پیشنهادی برای شهر تهران

	میزان مسافت طی شده	میزان سوخت مصرفی	تعداد ماشین در کل تهران	نیروی کار	جمع
میزان بهبود هر شاخص	۶۰۸۱۸۸ (کیلومتر)	۲۴۴۹۲۳(لیتر)[۱]	۷۰(عدد)	۲۸۲(نفر)	
میزان بهبود ریالی هر شاخص(میلیون ریال)	–	۶۹۲،۹۷۹	۷،۰۰۰	۱۶،۹۲۰	۲۴،۹۰۰

نتیجه گیری و تحقیقات آتی

این الگوریتم با یافتن مسیرهایی کوتاهتر می تواند به کاهش میزان مصرف سوخت، استهلاک ماشین های جمع آوری و هزینه های نیروی انسانی کمک قابل توجهی نماید که کاهش سوخت مصرفی نیز خود باعث کاهش آلودگی هوا می گردد. ضمناً تعریف ابعاد مساله به صورت تعاملی با مشارکت کارشناس موجب استفاده از فرضیات واقعی و

[۱] هزینه سوخت مصرفی ۴۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

نیز اعتماد به راه حل پیشنهادی می گردد که علاوه بر دستاورد تئوریک به پیاده سازی آن در دنیای واقعی نیز کمک می نماید. این راه حل پیشنهادی قابلیت کاربرد در مسائل مشابه مانند تعیین مسیر ماشین‌های حمل پول برای بانک‌ها و یا شبکه توزیع مواد غذایی به سوپرمارکت ها را نیز دارد. در ادامه این تحقیق استفاده از روش های هوشمند جستجو نظیر الگوریتم مورچگان، شبیه سازی تبریدی و tabu search قابل بررسی می باشد. ضمناً بهینه سازی برنامه کامپیوتری نیز می تواند قابلیت اجرای روش پیشنهادی در حل مسائل واقعی را افزایش دهد.

مسیرهای بدست آمده برای ناحیه سعادت آباد

50

m

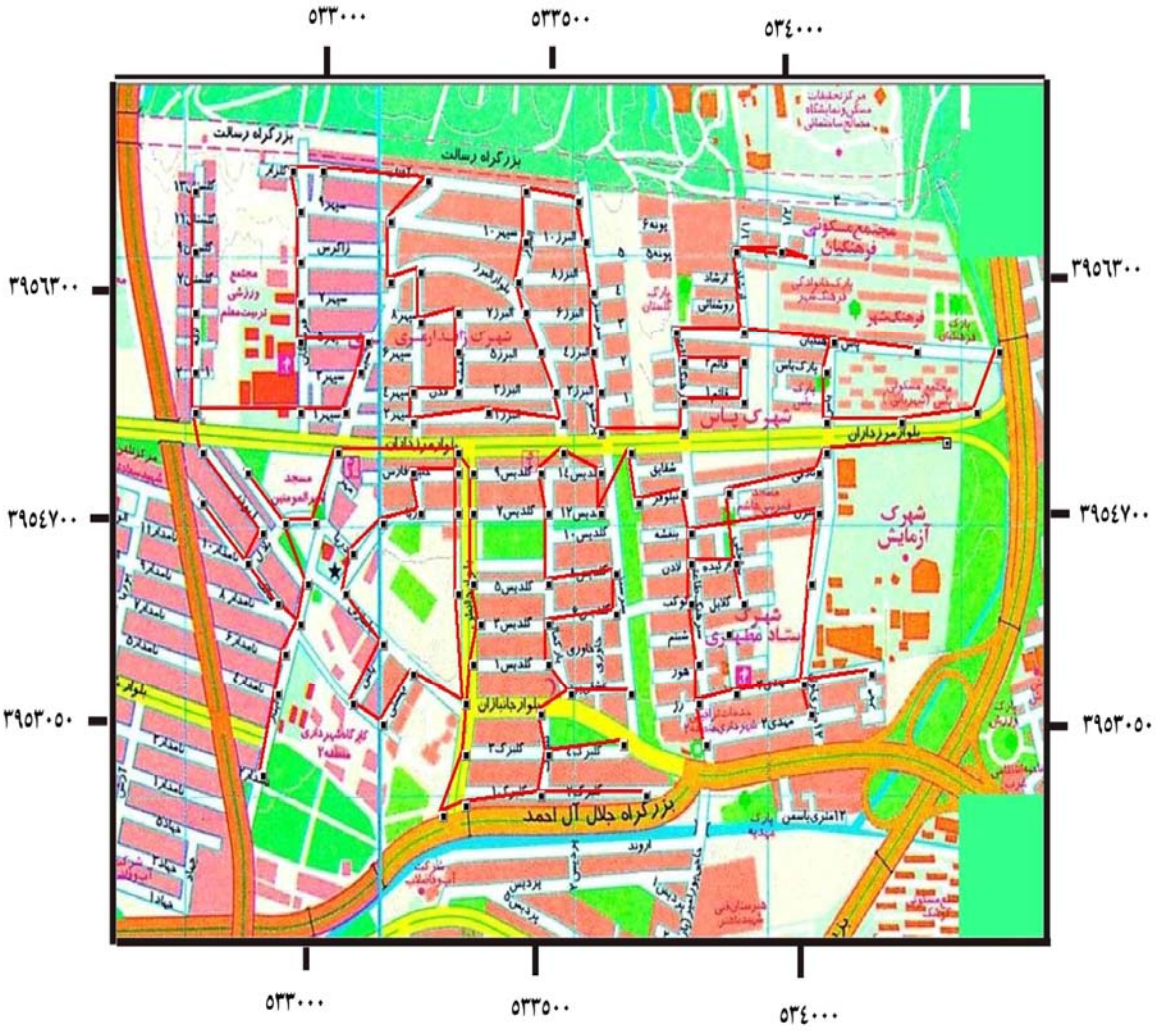
شمال

0 50 100 150

هر سانتیمتر روی نقشه برابر ۵۰ متر روی زمین است

ترسیم و تهیه بابک صادقی

مقیاس: ۱/۵۰۰۰۰



مسیرهای بدست آمده برای ناحیه شهرک ژاندارمری و شهرک آزمایش

50

m

شمال

0 50 100 150

هر سانتیمتر روی نقشه برابر ۵۰ متر روی زمین است

ترسیم و تهیه بابک صادقی

مقیاس: ۱/۵۰۰۰۰

منابع

۱- اطلاعات و مدارک موجود در سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران،۱۳۸۵.

۲- قاسمعلی عمرانی، (۱۳۷۶): مواد زائد جامد – جلد دوم – مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.

۳- محمد رضا علوی مقدم، (۱۳۷۷): مروری بر مدیریت مواد زائد جامد شهری، شرکت جهش کیمیا.

۴- محمد علی عبدلی، (۱۳۷۱): سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری و روش های کنترل آن، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران.

۵- دکتر محمد رضا مهرگان، (۱۳۸۱): پژوهش عملیاتی، نشر سالکان.

6-Alavi Moghaddam, (1377): R., *A Review on Solid Waste Management*, Jahesh Kimia Co.

7-Mahdavi Damghani, A., Savarypour, G., Zand, E., Deihimifard, R., (2007): "Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges", *Waste Management.*

8-Lee, T. and Ueng, J., (1999): "A study of vehicle routing problems with load-balancing", *International Journal of Physical Distribution & Logistics*, Vol.29, No.10, pp.646-658.

9-Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Bull, D., (1983): ``Routing and scheduling of vehicles and scheduling of vehicles and crews: the state of the art", *Computer Operation Research*, Vol. 10, pp. 63-111.

10- Chu, F., Labadi, N. and Prins C., (2004): "A Scatter Search for the Periodic Capacitated Arc Routing Problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 169, pp. 586-605.

11- Chyu, C.-C. and Chen, J.-D., (1996): ``An approximation algorithm for stacker-crane problems",*Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol. 13, , No. 1, pp. 61-70.

12- Viswanathan, S. and Mathur, K., (1997): ``Integrating routing and inventory decisions in onewarehouse multiretailer multiproduct distribution systems", *Management Science*, Vol. 43, No. 3, pp. 15-30.

13- Lee, T.-R., Hung, M.-L. and Liang, K.-Y., (1998): ``The application of SWOT and SPT in truck transportation industry - a case study of a truck transportation company", *Journal of Agricultural Financing*, Vol. 42, pp. 307-23.

14- Lee, T.-R. and Ueng, J.-H., (1998): "A study of vehicle routing integer programming model with multiobjectives", *Agriculture Marketing Review*, Vol. 3, pp. 197-210.

15- Lee, T.-R. and Ueng, J.-H. (1997): "The application of vehicle routing problems to distribution systems in agriculture marketing - an example of the door services for farmer associations' supermarkets", *Journal of the Land Bank of Taiwan*, Vol. 34, No. 1, pp. 147-60.

16- Ball, M., Golden, B., Assad, A. (Eds.), (1988): "Vehicle Routing: Methods and Studies", *Studies in Management Science and Systems*, vol. 16, pp.199–221.

17- Christofides, N., Beasley, J., (1984): "The period routing problem.Networks", pp.237–256.

18- Beltrami, E., Bodin, L., (1974): "Networks and vehicle routing for municipal waste collection", pp.65–94.

19- Russell, R., Igo, W., "An assignment routing problem Networks", (1979): pp.1–17.

20- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., (1997): "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems", *Computer Operation Research*, Vol. 51, pp.105–119.

21- Durmmond, L., Ochi, L., Vianna, D., "An asynchronous parallel metaheuristic for the period vehicle routing problem", *Future Generation Computer Systems*, Vol. 17, 2001, pp.379– 386.

22- Ghiani, G., Musmanno, R., Paletta, G., Triki, C., (2005): "A heuristic for the Periodic Rural Postman Problem", *Computers and Operations Research*, Vol.32, No.2, pp.219–228.
23- Lacomme, P., Prins, C., Ramdane-Cherif, W., (2002): "Evolutionary algorithms for multi-period arc routing problems", *9th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2002, 01-05/07/02)*, Annecy, France, pp. 845–852.
24- Chu, F., Labadi, N., Prins, C., *(Odysseus 2003):* "Lower bounds for the periodic capacitated arc routing problem". *2nd International Workshop on Freight Transportation and Logistics, 27–30/05/03, Palermo, Italy*.
25- Bodin, L., Golden, B., "Classification in vehicle routing and scheduling", (1981): pp.97-108.
26- Solomon, M.M., (1987): "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints". *Operations Research*, Vol.35, pp.254-262.
27- Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J., (1997): "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows", *Transportation Science* Vol.31, pp.170-186.
28- Belenguera, J., Benaventa, E., Lacomme, P., Prins, C., (2006): "Lower and upper bounds for the mixed capacitated arc routing problem", *Computers & Operations Research*, Vol.33, pp. 3363-3383.
29- Render, B., Stair, R. and Hanna, M., (2006): *Quantitative Analysis for Management*, pearson prentice hall, PP. 21
30-]30[http://www.tehran.ir/LinkClick.aspx?fileticket=gxlO4K7hYbs%3d&tabid=7754&mid=1418
31- URL: http://www.fhwa.dot.gov/environment/freightaq/appendixb.htm