مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱ - ۲۶، شماره‌ی ۲، ص. ۹۹-۱۰۶، (یادداشت فنی)

بهبود برنامه‌ریزی جمع‌آوری پسماندهای شهری در ابعاد واقعی (مطالعه موردی: شهر تهران)

محمدتقی عیسائی (استادیار)
فرامرز ارجمندی (کارشناس ارشد)
علی بختیاری (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف
آتنا کیاکجوری (دانشجوی کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مدیریت و علوم اداری، دانشگاه علوم و فنون مازندران

در این نوشتار الگوریتمی طراحی می‌شود تا با ارائه‌ی مسیرهای مناسب درون هر ناحیه شهرداری، هزینه‌های جمع‌آوری پسماند را به کمترین حد ممکن کاهش دهد. با توجه به اینکه جمع‌آوری پسماند حدود ۵۰ الی ۷۰ درصد از مخارج کل یک سیستم مدیریت پسماند شهری را تشکیل می دهد،[1] اندکی بهبود در عملکرد سیستم، موجب کاهش قابل ملاحظه‌ی کل هزینه‌های مدیریت پسماند می‌شود. مدل ریاضی این مساله از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح است که برای حل آن در زمان نسبتاً کوتاه، روشی ابتکاری شامل سه الگوریتم پیشنهاد می‌شود: ابتدا کل محدوده‌ی مورد بررسی با استفاده از الگوریتم اول (الگوریتم بخش بندی[1]) به تعدادی بخش تقسیم می‌شود. هر نقطه واقع در مرز بخش می‌تواند یک نقطه شروع یا پایان بالقوه برای عملیات جمع‌آوری باشد. با استفاده از الگوریتم دوم (الگوریتم تولید مسیر) برای هر بخش کوتاه‌ترین مسیر بین هر زوج نقطه شروع و پایان تعیین می شود. درگام بعدی، الگوریتم ترکیب بخش‌های همجوار مناسب را باتوجه به ظرفیت و تعداد ماشین‌های جمع‌آوری موجود مشخص می کند به طوری‌که کل مسافت طی شده در مجموع این بخش‌ها کمینه شود. در این روش ابتکاری موانع توپولوژیکی (مانند بن‌بست‌ها و بلوارها) و همچنین مقررات ترافیکی (مانند یک طرفه بودن) به عنوان محدودیت لحاظ شده‌اند تا نتایج هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشند. در نهایت، برتری روش پیشنهادی نسبت به روش مورد استفاده در دنیای واقعی از طریق مورد کاوی در ابعاد واقعی برای سه ناحیه از شهرداری تهران نشان داده می شود.

isaai@sharif.edu
f.arjomandy@gmail.com
alibakh62@gsme.sharif.edu
atena.kiakojori@gmail.com

واژگان کلیدی: مدیریت پسماند، مسیریابی، جمع‌آوری پسماند، مدل‌سازی ریاضی.

مقدمه

مدیریت پسماندهای شهری شش مرحله‌ی اصلیِ «تولید پسماند»، «انتقال پسماند تولیدشده به مخازن جمع‌آوری»، «جمع‌آوری»، «حمل‌ونقل»، «پردازش و بازیافت» و «دفع نهایی» را شامل می‌شود. در مرحله‌ی تولید پسماند، انواع پسماندها و عوامل مؤثر بر میزان تولید آن‌ها بررسی می‌شود. مرحله‌ی دوم دربرگیرنده‌ی سه فعالیت اصلی جابه‌جایی (انتقال پسماند به محل‌های جمع‌آوری)، ذخیره در محل (مدت زمان جمع‌آوری پسماند و نحوه‌ی نگه‌داری آن در این فاصله)، و پردازش (انجام هرگونه عملیات فیزیکی، شیمیایی یا زیست‌شناختی روی پسماند نظیر جداسازی کاغذ و شیشه از سایر پسماندها) است. جمع‌آوری پسماند عبارت است از برداشتن پسماند از محل تولید و بارگیری آنها در ماشین‌های جمع‌آوری. در سیستم فعلی مدیریتی در تهران، که از ایستگاه‌های انتقال بهره می‌گیرد، جمع‌آوری عبارت است از برداشتن پسماند از درب منازل یا دیگر محل‌های تولید، بارگیری مواد در ماشین‌های جمع‌آوری و حمل آنها به ایستگاه انتقال و تخلیه‌ی مواد در ایستگاه انتقال یا درکامیون بزرگ‌تری که در ایستگاه قرار دارد. هدف اصلی از ساخت ایستگاه‌های انتقال، جمع‌آوری مواد توسط تعداد زیادی از ماشین‌های کوچک‌تر و حمل آنها به این ایستگاه‌ها است. در این ایستگاه‌ها، پسماند از تجهیزات کوچک‌تر به کامیون‌های بزرگ‌تر منتقل می‌شود و در بسیاری از موارد یک سری عملیات دیگر مانند تراکم و بازیافت اجزاء نیز بر روی آن انجام می‌پذیرد. در حال حاضر ۴۴۷ ماشین موجود با ظرفیت‌های ۳، ۶ و ۹ تن برای جمع‌آوری پسماند، روزانه ۲۵۰۰ دسته حرکت انجام داده و به‌صورت تقریبی ۱۲ الی ۱۸ تن پسماند را از سطح شهر جمع‌آوری می‌کنند. حمل و نقل چهارمین مرحله از مراحل شش‌گانه‌ی مدیریت پسماند جامد است و به وسایل، امکانات و

تاریخ: دریافت ۱۳۸۷/۴/۳، داوری ۱۳۸۷/۶/۳۱، پذیرش ۱۳۸۷/۱۰/۱.

ابزاری اطلاق می‌شود که برای انتقال پسماند جامد از وسایل نقلیه‌ی کوچک جمع‌آوری به وسایل نقلیه‌ی بزرگ‌تر و نیز حمل مواد در فاصله‌ی طولانی‌تر به محل انجام فرایند، بازیافت یا محل دفع به کار گرفته می‌شود. پردازش به هرگونه روش یا سیستمی اطلاق می‌شود که موجب تغییر شکل فیزیکی یا شیمیایی پسماند جامد شود. پردازش و بازیافت پنجمین مرحله‌ی مدیریت پسماند جامد شهری است. عملیات پردازش می‌تواند در دیگر مراحل مدیریت مانند تولید و جمع‌آوری انجام شود. انتخاب روش پردازش و بازیافت بستگی به اهداف سیستم مدیریت پسماند جامد و روش‌های دفع نهایی دارد. در مرحله‌ی دفع نهایی، پسماندها در محل‌هایی از پیش تعیین شده دفن می‌شوند یا آنها را می‌سوزانند. در این مرحله در نظرگرفتن عوامل زیست‌محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است.

براساس آخرین آمارهای موجود میزان پسماندهای تولیدشده در تهران طی ۱۵ سال اخیر روندی صعودی داشته و پسماند تولیدشده در سال ۱۳۸۴ معادل ۲۶۲۶۵۱۹ تن بوده که از این میزان ۲۵۷۰۹۸۸ تن مربوط به پسماندهای شهری است.[۲] هرشب از ۲۲ منطقه‌ی تهران بزرگ با ۱۲۸ ناحیه و ۳۷۱ محله و جمعیتی حدود ۸ میلیون نفر، مقدار ۷۰۰۰ تن پسماند تولیدشده توسط ۳ نوع ماشین با ظرفیت‌های گوناگون ازکنار خانه‌ها جمع‌آوری و به ایستگاه‌های میانی منتقل می‌شود. در ایستگاه‌های میانی، پسماند از ماشین‌های جمع‌آوری تخلیه و در شبه‌تریلرها بارگیری و به سمت محل دفع در جنوب تهران (منطقه‌ی کهریزک) حمل می‌شود. هر ناحیه‌ی شهرداری تهران شامل مخازن ۹۰ کیلوگرمی (۶۶۰ لیتری) است که این مخازن در معابر درجه ۱ و ۲ (خیابان‌ها و کوچه‌های اصلی) به‌گونه‌یی نصب می‌شوند تا به‌صورت متوسط شعاع ۱۵۰ متر را پوشش دهند. (میزان تراکم جمعیت در هر محله نیز در تعیین این فاصله در نظرگرفته می‌شود) با توجه به میزان تولید پسماند هر ناحیه‌ی شهرداری در شبانه‌روز و ظرفیت ماشین‌ها، تعداد ماشین مورد نیاز برای جمع‌آوری آن ناحیه اختصاص داده می‌شود. باید توجه داشت که کاهش هزینه‌های مرتبط با مدیریت پسماندهای شهری از طریق بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های جمع‌آوری، تأثیر قابل توجهی بر کاهش هزینه‌های کلی مدیریت پسماندهای شهری خواهد داشت. این امر را می‌توان از طریق کاهش مسافت طی‌شده توسط ماشین‌های جمع‌آوری پسماند و درنتیجه کاهش هزینه‌های سوخت مصرفی و استهلاک انجام داد.

به‌طور کلی کاهش مسافت طی‌شده در فرایند جمع‌آوری به موضوع مسیریابی مربوط می‌شود و با توجه به این که ظرفیت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند محدود است می‌توان مسئله را از نوع «مسائل مسیریابی مسیرهای ظرفیت‌دار[۲]» دانست. این نوع از مسائل NP-hard هستند و به‌صورت نموداری شامل مجموعه‌یی از نقاط (نقاط سرویس‌دهی) و یال‌های (مسیرها) آن تعریف می‌شوند که یال‌های نمودار دارای تقاضا هستند و باید به‌گونه‌یی به تقاضای آنها پاسخ داده شود که مجموع هزینه‌های پیمایش مسیر کمینه شود. روش‌های دقیق فقط قادر به حل این مسائل با اندازه‌ی کوچک هستند،[۳] و برای حل مسائل با اندازه‌ی بزرگ‌تر از روش‌های ابتکاریِ ارائه شده در دهه‌ی ۸۰ استفاده می‌شود.[۴] مدیریت پسماندها نیز به دنبال یافتن مسیرهایی است که تا حد امکان سودآور و کارآ باشند. مدیران در این بخش نیز خواستار کاهش هزینه‌های عملیاتی، شامل هزینه‌های ثابت وسایل نقلیه، هزینه‌های متغیر وسایل نقلیه و هزینه‌های نیروی کار هستند. یکی از راه‌های کاهش این هزینه‌ها، کاهش مسافت طی‌شده توسط این وسایل نقلیه است. این نوع از مسائل در ادبیات غالباً تحت عنوان «مسئله‌های مسیریابی ماشین‌ها (VPR)[۳]» معرفی می‌شوند. در این نوع مسائل با استفاده از بعضی منابع (وسیله‌ی نقلیه، زمان،...) و وجود بعضی محدودیت‌ها (ظرفیت بار وسیله‌ی نقلیه، شیفت‌های کاری،...)، ماشین‌های جمع‌آوری می‌بایست از یک نقطه شروع کرده و با خدمت‌دهی در تمام نقاط یا مسیرهای تعیین‌شده از شبکه و با در نظرگرفتن هدف از پیش تعیین شده (مثل کم‌ترین هزینه یا کوتاه‌ترین مسافت)، در نهایت به نقطه‌ی شروع برگردند. از آنجا که می‌توان محل‌های خدمت‌دهی را هم به‌وسیله‌ی نقطه و هم به‌وسیله‌ی مسیر نمایش داد، دسته‌بندی مسائل مسیریابی چنین خواهد بود:

۱. مسائل پوشش نقاط[۴]: هدف از این‌گونه مسائل خدمت‌دهی به کلیه‌ی نقاط تعیین‌شده در شبکه و در عین حال در نظرگرفتن هدف‌های بهینه‌سازی است.
۲. مسائل پوشش مسیرها[۵]: هدف از این‌گونه مسائل خدمت‌دهی از طریق کلیه‌ی مسیرهای تعیین‌شده در شبکه و در عین حال در نظرگرفتن هدف‌های بهینه‌سازی است.[۵]

پیش‌تر مسئله‌ی مسیریابی ماشین به دسته‌بندی زیر تقسیم شده است:[۲]

۱. فروشنده(ها)ی دوره‌گرد[۶]؛
۲. ایستگاه(های) خدمت‌دهی و مسیریابی ماشین‌ها؛
۳. ایستگاه خدمت‌دهی و مسیریابی ماشین‌ها با تقاضای تصادفی؛
۴. پستچی چینی[۷]؛
۵. پستچی چینی با قیود ظرفیت[۸].

علاوه بر دسته‌بندی ذکرشده، عملاً انواع دیگری از مسائل مسیریابی به‌دلیل تفاوت در ویژگی‌ها و اهداف این‌گونه مسائل بروز کرده است. برای مدیریت مواد/مسیریابی ماشین بین ایستگاه‌های کاری الگوریتم ابداعی طراحی شده است.[۶] برای طراحی سیستم لجستیک، انبارداری را همراه با مسائل مسیریابی در نظرگرفتند.[۷] نظریه‌ی کوتاه‌ترین مسیر برای مسائل مسیریابی در نظر گرفته شد.[۸و۹] همچنین، مسئله‌ی مسیریابی در سیستم توزیع خانه‌به‌خانه در یک سوپر مارکت و با تعیین مسیر بهینه برای رسیدن به کم‌ترین هزینه‌های توزیع بررسی شد.[۱۰]

مسائل مسیریابی که شامل تعیین توالی مسیرها برای روزهای یک دوره‌ی زمانی برنامه‌ریزی شده است در ادبیات تحت عنوان «مسئله‌ی مسیریابی دوره‌یی ماشین‌ها (PVRP)[۹]» خوانده می‌شود. مسیریابی دوره‌یی ماشین‌ها (PVRP) به‌دلیل نیاز به انتصاب مشتریان به روزها و نیز انتصاب مشتریانِ هر روز به هر ماشین، با عنوان «مسائل تخصیص مسیریابی» نیز خوانده می‌شود PVRP.[۱۰] رسماً به‌عنوان بسطی از مسائل مسیریابی ماشین تعریف شد.[۱۱] عموماً هدف PVRP کمینه‌سازی مسافت طی‌شده در طول دوره‌ی زمانی برنامه‌ریزی با در نظرگرفتن ظرفیت ماشین‌ها و محدودیت‌های زمانی مسیرها برای مسیریابی روزانه است. بعضی از اولین کاربردهای PVRP در جمع‌آوری پسماند است.[۱۲و۱۳] برای بهبود عملکرد PVRP الگوریتم‌هایی توسط محققین و براساس الگوریتم جستجوی ممنوع[۱۰] و الگوریتم‌های ژنتیک توسعه داده شده است.[۱۴و۱۵]

مسائل مسیریابی دوره‌یی مسیرهای ظرفیت‌دار (PCARP) برای مدت طولانی در مقایسه با مسائل مشابه مسیریابی چنددوره‌یی به‌وسیله‌ی نقاط (PVRP) مورد توجه چندانی قرار نگرفته است. حتی می‌توان گفت درخصوص مسائل چنددوره‌یی ادبیات موجود بسیار محدود است. یکی از بررسی‌های انجام شده «مسئله‌ی دوره‌یی پستچی روستایی[۱۱]» است.[۱۶] در نوشتاری دیگر، نسخه‌های مختلفِ گونه‌شناسی مسائل PCARP همراه با یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله بدون نتایج عددی ارائه شد.[۱۷]

مسئله‌های PCARP تعمیمی چنددوره‌یی از CARP است و چون یال‌های گراف در بسیاری از کاربردهای واقعی به‌ندرت نیاز به سرویس‌دهی روزانه دارند، مورد توجه قرار گرفتند. به‌طور مثال در جمع‌آوری پسماند، تولید پسماند در یک خیابان به

عوامل متعددی، مانند تراکم جمعیت آن بخش، بستگی دارد. وقتی که نرخ تولید هم زیاد مهم نباشد، جمع‌آوری روزانه‌ی پسماندها بسیار هزینه‌بر خواهد بود و بنابراین شهرداری جمع‌آوری دوره‌یی را ترجیح دهد.[۱۸]

در مسائل کلاسیک مسیریابی ماشین، مسیرهای چندین ماشین را با هزینه‌ی کمینه تعیین می‌کردند، که هر کدام از یک نقطه‌ی اولیه[۱۲] شروع می‌شد، تعدادی از نقاط را طی می‌کرد و در نهایت به همان نقطه‌ی اولیه بازمی‌گشت. محققین بر این باورند که مسائل مسیریابی، بسته به ماهیت هر کاربرد، ویژگی‌های گوناگونی دارند.[۱۹] تعداد ناوگان حمل‌ونقلِ موجود، تعداد ایستگاه‌ها و انواع عملیات مثال‌هایی از این ویژگی‌ها هستند. مسئله‌ی مسیریابی زمان‌بندی شده‌ی ماشین‌ها (VRSP)[۱۳] به‌عنوان تعمیمی از مسائل مسیریابی با درنظرگرفتن قیود زمانی مانند بازه‌های زمانی توقف[۱۴]، محدودیت زمان کلی و حق تقدم در ارائه‌ی خدمت در نظرگرفته می‌شود. اخیراً یک مجموعه مسائل مرتبط با مسائل مسیریابی با قید توقف‌های زمانی پیشنهاد شده[۲۰] و نیز مطالعات محاسباتی چندین الگوریتم ابتکاری برای حل این مجموعه انجام شده است. از سوی دیگر، برخی از محققین مسئله‌ی مسیریابی ماشین را با استفاده‌ی چندگانه از ماشین در نظر گرفتند، بدین‌صورت که در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی می‌توان به‌وسیله‌ی یک ماشین در مسیرهای متعدد خدمت‌رسانی کرد.[۲۱] آنها یک الگوریتم ابتکاری برمبنای tabu search برای حل مسئله ارائه کردند.

البته باید توجه داشت که CARP برای مدل‌سازی شبکه‌ی واقعی خیابان‌های شهر و برای حل مسائلی مانند جمع‌آوری پسماند مدلی ساده است. بدین معنی که نمودارِ بدون جهت آن فقط می‌تواند خیابان‌های دوطرفه را، که هر دو طرف آن به‌صورت موازی و در هر جهت دلخواه جمع‌آوری می‌شود، مدل‌سازی کند. حتی اگر این امر برای بخش‌های کم‌ترافیک مقدور باشد، شبکه‌ی واقعی خیابان‌های شهری شامل خیابان دوطرفه‌یی است که دو طرف آن از هم مستقل بوده و هرکدام یک طرفه‌اند. این‌گونه نواقص را می‌توان با بسط دادن CARP به‌وسیله‌ی یک نمودار مختلط[۱۵] انجام داد که در نهایت منجر به مسئله‌ی جدیدی به‌نام MCARP[۱۶] خواهد شد.[۲۲]

در بخش‌های بعدی این نوشتار ابتدا مسئله و محدودیت‌های آن تعریف شده و یک مدل ریاضی برای آن ارائه شده است. سپس الگوریتمی ابتکاری برای کاهش مسیرهای جمع‌آوری ارائه شده است. در نهایت نیز برای تعیین صحت عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دنیای واقعی، این الگوریتم در سه ناحیه‌ی مختلف 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.

بهینه‌سازی مسیر حرکت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند

بخش عمده‌یی از هزینه‌های جمع‌آوری پسماند را هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌ی سوخت مصرفی ماشین‌های جمع‌آوری پسماند، هزینه‌ی نگه‌داری و هزینه‌ی نیروی انسانی تشکیل می‌دهد. بنابراین هدف از طرح این مسئله تعیین مسیر حرکت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند است به‌گونه‌یی که:

۱. مجموع مسافت طی‌شده در کل ناحیه کاهش یابد که در نهایت می‌تواند منجر به کاهش مصرف سوخت، استهلاک ماشین و همچنین زمان جمع‌آوری شود.

۲. هر ماشین در طول مسیر با توجه به ظرفیت خود بیشترین مقدار را جمع‌آوری کرده و سپس به سمت ایستگاه میانی برای تخلیه برود.

شرح محدودیت‌ها و فرضیات

تابع هدف در این مسئله کمینه‌کردن طول مسیرهای پیموده‌شده توسط ماشین‌های جمع‌آوری پسماند است. همچنین می‌توان هزینه‌های مرتبط با فرایند جمع‌آوری (نظیر هزینه‌ی سوخت و استهلاک) را وارد تابع هدف کرد که در این نوشتار از انجام آن صرف‌نظر می‌شود. محدودیت‌های موجود در این مسئله که در ادامه به‌صورت ریاضی معرفی خواهند شد شامل دو محدودیت اصلی است: ۱. ظرفیت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند محدود است. همچنین با توجه به ثابت‌بودن میزان ظرفیت هر ماشین و تعداد آنها، می‌توان فرض ثابت‌بودن نرخ تولید پسماند توسط خانوارها را نیز به‌طور ضمنی در این محدودیت دید؛ ۲. هریک از نقاط موجود در هر بخش تنها به‌وسیله‌ی یک مسیر پیوسته به هم متصل و توسط یک ماشین پیموده می‌شوند.

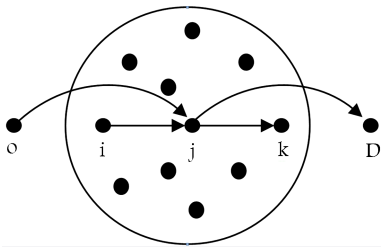
مدل ریاضی مسئله

هر بخش را می‌توان مطابق شکل ۱ نمایش داد، که در آن نقاط i، j و k نشان‌دهنده‌ی نقاط داخلی (مخازن هر بخش) بوده و نقاط O و D به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی دپو (یا نقطه‌ی پایانی مسیر از بخش همسایه) و ایستگاه میانی (یا نقطه‌ی ابتدایی مسیر از بخش همسایه) باشند. همچنین این نقاط می‌توانند نشان‌دهنده‌ی نقاط همسایگی اطراف نیز باشند. دو کمان ورودی به مخزن j نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که ماشین جمع‌آوری پسماند این مخزن، بدون واسطه از دپو یا از مخزنی دیگر (i) به این نقطه می‌آید. کمان‌های خروجی از j به‌طور مشابه نشان می‌دهند که ماشین پس از تخلیه‌ی مخزن j یا به نقطه‌ی مجاور دیگر عزیمت می‌کند، یا ظرفیت آن تکمیل است و به ایستگاه میانی می‌رود. در این مسئله فرض می‌شود که فقط یک دپو (O) و یک ایستگاه میانی (D) برای پشتیبانی عملیات در ناحیه وجود دارد که به‌عنوان نقاط ابتدایی و انتهایی عملیات جمع‌آوری به کار می‌روند. بدین‌ترتیب برای ساخت مدل ریاضی متغیر تصمیم‌گیری مطابق زیر تعریف شده است:

$$X_{ijt} = \begin{cases} ۱ & \text{ماشین t از مخزن i به مخزن j می‌رود.} \\ ۰ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$

$$X_{Ojt} = \begin{cases} ۱ & \text{ماشین خالی t از دپوی O آمده و از مخزن j شروع به جمع‌آوری کند.} \\ ۰ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$

$$X_{iDt} = \begin{cases} ۱ & \text{ماشین t در مخزن i جمع‌آوری را به اتمام برساند و به نقطه‌ی میانی D برود.} \\ ۰ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$



شکل ۱. نمایش شماتیک موقعیت سطل‌های پسماند.

پارامترهای این مدل عبارت‌اند از، O نقطه‌ی شروع؛ D دپو یا نقطه‌ی پایانی؛ M تعداد ماشین‌های جمع‌آوری؛ d_{ij} هزینه‌ی پیمایش از نقطه‌ی i به نقطه‌ی j؛ N تعداد مخازن موجود در هر ناحیه؛ C_t ظرفیت ماشین‌های جمع‌آوری. بنابراین با توجه به این تعریف تابع هدف را می‌توان چنین تعریف کرد:

$$Min\ (\sum_i \sum_j d_{ij} \sum_t X_{ijt} + \sum_t \sum_j X_{Ojt}.d_{Oj} + \sum_t \sum_i X_{iDt}.d_{iD})$$

$$s.t.$$

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

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

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

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

پیچیدگی حل مسئله

مدل ریاضی این مسئله از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح با سه نوع متغیر تصمیم‌گیری و چهار نوع محدودیت است. با فرض این که منطقه‌ی مورد بررسی دارای ۵۰۰ مخزن و ۵ ماشین جمع‌آوری باشد، مسئله دارای ۱۲۵۵۰۰۰ متغیر تصمیم‌گیری و ۲۵۰۵۰۰۰ محدودیت می‌شود که تعداد قابل توجهی است. به‌علاوه مدل‌سازی ریاضی بعضی محدودیت‌ها (مانند یک‌طرفه‌بودن خیابان‌ها، بن‌بست‌ها و بلوارها) با استفاده از روش‌های کلاسیک امکان‌پذیر نیست. بنابراین حل این مسئله با استفاده از روش‌های کلاسیک برای یافتن جواب کاربردی در مدت زمان کوتاه و منطقی امکان‌پذیر به نظر نمی‌رسد، لذا با هدف دست‌یابی به جواب بهتر از وضعیت کنونی و قابل استفاده در دنیای واقعی، در این نوشتار یک الگوریتم ابتکاری معرفی می‌شود.

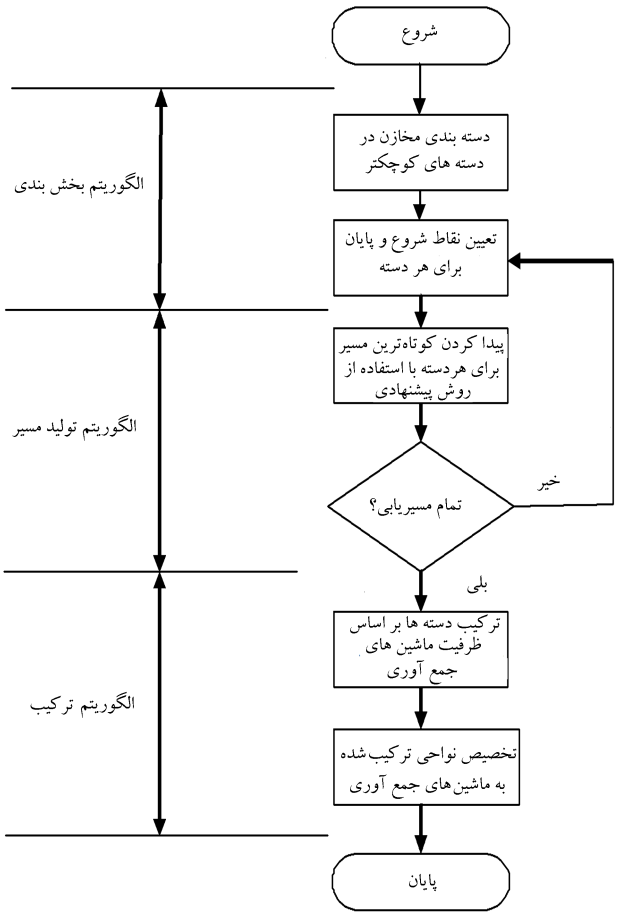
با توجه به ظرفیت ماشین‌ها و حجم مخازن (در این تحقیق به‌دلیل اینکه مخازن معمولاً به‌طورکامل پر نمی‌شوند ۸۰ کیلوگرم در نظرگرفته شده است)، می‌توان نتیجه گرفت که کوچک‌ترین ماشین جمع‌آوری با ظرفیت ۳ تن می‌تواند محدوده‌یی با ۴۰ مخزن را پوشش دهد. اگر با استفاده از ماشین‌های ۶ و ۹ تنی اقدام به جمع‌آوری شود می‌توان بخش‌هایی را به‌ترتیب با ۸۰ و ۱۲۰ مخزن پوشش داد. با توجه به این شرط که تمام مخازن باید بررسی شوند و نیز با در نظر گرفتن این نکته که درصورت افزایش تعداد مخازن هر بخش، تعداد پردازش‌های لازم برای هر بخش این مسئله به‌صورت توانی رشد می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که حل این مسئله برای این تعداد نقطه بسیار زمان‌بر خواهد بود. در این الگوریتم با شکستن دسته‌های ۴۰تایی مخازن به دسته‌های ۱۰تایی، زمان حل مسئله کاهش چشم‌گیری می‌یابد. مناسب‌ترین مسیرهای یک دسته‌ی ۴۰تایی از مخازن را با ترکیب مسیرهای حاصله در تقسیم‌بندی‌های ۱۰تایی می‌توان به دست آورد. همچنین با استفاده از این روش می‌توان با ترکیب این دسته‌های ۱۰تایی، برای ماشین‌های با ظرفیت بالاتر (۸۰تایی و ۱۲۰تایی) نیز مناسب‌ترین مسیرها را یافت.

روش پیشنهادی برای حل مسئله

مراحل اصلی روش حل پیشنهادی در شکل ۲ آمده است. در ادامه‌ی هر یک از مراحل در قالب الگوریتم‌های مربوط به آن توضیح داده شده است:

الگوریتم بخش‌بندی

در این الگوریتم، با توجه به ظرفیت محدود ماشین‌های جمع‌آوری پسماند، هر ناحیه‌ی شهرداری به تعدادی بخش با تعداد مخازن مشخص تقسیم می‌شود. با توجه به این که ماشین‌های جمع‌آوری پسماند دارای سه ظرفیت مختلف ۳، ۶ و ۹ تنی است و نیز با در نظرگرفتن میزان متوسط پسماند هر مخزن به‌اندازه‌ی ۸۰ kg و ظرفیت کوچک‌ترین ماشین جمع‌آوری ــ کم‌ترین محدوده‌یی که کوچک‌ترین ماشین جمع‌آوری می‌تواند پوشش دهد ــ محدوده‌یی با ۴۰ مخزن است. اما چون مسئله‌ی مسیریابی از نوع مسائل NP-hard است و زمان حل آن با افزایش اندازه‌ی مسئله (افزایش تعداد نقاط) به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد، به‌منظورکاهش زمان حل برای یک بخش ۴۰ مخزنی، بخش‌ها به دسته‌های ۱۰تایی تقسیم‌بندی می‌شود. در این مرحله بخش‌ها و نقاط همسایه نیز به‌صورت تعاملی[17] توسط کارشناسان تعریف می‌شوند، بدین صورت که کاربر می‌تواند با فشردن کلید تأیید بر روی نقشه، محل مخازن را مشخص کند؛ با اجرای برنامه‌ی رایانه‌یی دسته‌بندی هر ناحیه به بخش‌های کوچک‌تر با ۱۰ مخزن انجام می‌پذیرد. این تقسیم‌بندی براساس همسایگی نقاط (مخازن) موجود در



شکل ۲. گام‌های حل مسئله در شیوه پیشنهادی.

هر ناحیه صورت می‌گیرد. در این تحقیق بخش‌ها یا نقاطی به‌عنوان همسایه شناخته می‌شوند که از بخش یا نقطه‌ی مورد بررسی به آنها مسیری در دنیای واقعی وجود داشته باشد. نقاط دارای همسایگی در هر بخش به‌عنوان نقاط مرزی و کاندیدای نقاط شروع و پایان آن بخش تعیین می‌شوند. در نهایت، بخش‌های کوچک‌تر توسط رنگ‌های متفاوت مخازن آنها برای کاربر مشخص می‌شوند. یادآور می‌شود مشارکت کاربر در این مرحله و درک مناسب او از چگونگی مدل‌سازی و شیوه‌ی حل مسئله، به موفقیت در پیاده‌سازی آن کمک می‌کند.[۲۳]

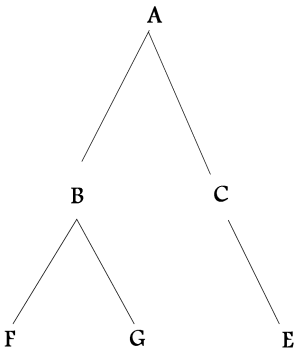
الگوریتم تولید مسیر[۱۸]

پس از تعریف بخش‌ها و تعیین نقاط کاندیدای شروع و پایان برای هر بخش در الگوریتم قبلی، کوتاه‌ترین مسیر برای هر زوج نقطه‌ی کاندیدای شروع و پایان در هر بخش ۱۰تایی توسط الگوریتم تولید مسیر تعیین می‌شود. این الگوریتم به‌شرح زیر است:

ابتدا یکی از نقاط کاندیدای شروع در یک بخش انتخاب، و تمامی همسایگی‌های آن نقطه شناسایی و در ماتریس همسایگی ذخیره می‌شود. در ادامه، این عملیات برای تمام نقاط کاندیدای شروع و در تمام بخش‌ها انجام می‌پذیرد. به‌عنوان مثال با فرض این که نقاط B و C همسایه‌های نقطه‌ی A، نقطه‌ی E همسایه‌ی‌نقطه C، و نقاط F و G همسایه‌های نقطه B باشند، در شکل ۳ نمودار درختی این روند نشان داده شده است.

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

- هرگاه به یکی از نقاط پایانی برخورد شود بررسی می‌شود که آیا تمامی مخازن آن بخش چک شده‌اند یا خیر؟ اگر این‌طور نبود به حل این مسیر ادامه می‌دهد، ولی اگر تمامی مخازن آن بخش چک شده بودند این مسیر به‌عنوان یک مسیر معتبر ذخیره می‌شود.
- هرگاه طول مسیر ۲/۵ برابر تعداد نقاط داخل بخش شود، اما هنوز به هیچ نقطه‌ی پایانی نرسیده باشد آن مسیر حذف می‌شود.
- هرگاه مسیری تکراری مانند ABCDEABCDE، ABCDABCD، AB-CABC، ABAB تولید شود آن مسیر حذف می‌شود.
- هرگاه مسیر دوباره به نقطه شروع رسید، با این شرط که طول مسیر بیش از دوبرابر تعداد نقاط داخل بخش باشد آن مسیر حذف می‌شود، در غیر این‌صورت ادامه می‌یابد.



شکل ۳. نمودار درختی همسایگی نقاط.

در نهایت این الگوریتم پس از پیدا کردن تمامی مسیرهای معتبر برای هر زوج نقاط شروع و پایان درون هر بخش، با مقایسه‌ی مسیرهای تولیدشده براساس شاخصی که از پیش تعریف می‌شود (مثلاً مسافت)، مناسب‌ترین مسیرها را پیدا می‌کند. سرانجام مجموعه‌یی از مناسب‌ترین مسیرها برای تمامی بخش‌ها به دست آمده و در یک پایگاه داده ذخیره می‌شود.

الگوریتم ترکیب[۱۹]

در این الگوریتم دسته‌های ۱۰ مخزنی ایجادشده در مرحله‌ی قبل به یکدیگر چسبانده می‌شوند. با توجه به میزان متوسط پسماندهای هر مخزن معادل ۸۰ کیلوگرم و ظرفیت ماشین‌های جمع‌آوری که معادل ۳، ۶ و ۹ تنی هستند، ماشین‌ها می‌توانند بخش‌هایی با تعداد مخازن به‌ترتیب ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ را جمع‌آوری کنند. بنابراین ترکیب دسته‌های ۱۰ مخزنی در قالب رشته‌های ۴، ۸ و ۱۲ خانه‌یی صورت می‌پذیرد که هر خانه نمایانگر یک مسیر در درون یک بخش است. یادآور می‌شود ماشین‌های با حجم بیشتر به‌دلیل کم‌تر بودن تعداد دفعات تخلیه در ایستگاه‌های میانی، مسافت کم‌تری را می‌پیمایند و درنتیجه هزینه‌های کم‌تری را شامل می‌شوند. روش ترکیب این دسته‌های ۱۰ مخزنی همانند روش درختی است که در قسمت قبل توضیح داده شد، با این تفاوت که طول رشته‌های ترکیب ثابت است (۴، ۸ و ۱۲ خانه) و پایان ترکیب بخش‌ها زمانی است که خانه‌های رشته تکمیل شود. باید توجه داشت که برای به دست آوردن کل مسیر، این دسته‌ها به‌گونه‌یی به هم می‌پیوندند که نقطه‌ی پایان یک مسیر در مجاورت نقطه‌ی شروع مسیر بعدی باشد. این فرایند از ترکیبات ۱۲تایی شروع می‌شود و سپس ترکیبات ۸تایی و ۴تایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (چون ترکیبات ۱۲تایی کم‌ترین هزینه را به خود اختصاص می‌دهند و این هزینه به‌ترتیب برای ترکیبات ۸ و ۴تایی افزایش می‌یابد) و سر انجام در میان این ترکیبات، ترکیبی که در مجموع کوتاه‌ترین مسافت را دارد انتخاب می‌شود.

ارزیابی روش حل پیشنهادی

معرفی مسئله‌ی حل‌شده برای یکی از بخش‌های شهر تهران

در این قسمت ضمن معرفی محدوده‌یی از شهر تهران که الگوریتم پیشنهادی برای آن حل شده، عملکرد الگوریتم با حل تجربی در دنیای واقعی مقایسه می‌شود. لازم به ذکر است که روش تجربی که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد نتیجه‌ی تعامل پیشنهادات سازمان خدمات موتوری و تجربه‌ی رانندگان ماشین‌های جمع‌آوری است، که با هدف کمینه‌کردن میزان هزینه‌ها طراحی شده است. جمع‌آوری پسماند در تهران به دو صورت انجام می‌شود: سازمان خدمات موتوری مستقیماً پسماند برخی از مناطق را جمع‌آوری می‌کند و در مناطق دیگر این امر را به شرکت‌های پیمانکار واگذار کرده است. از آنجا که پرداخت هزینه‌ی جمع‌آوری براساس میزان پسماند صورت می‌گیرد، افزایش طول مسیر جمع‌آوری مزیتی را برای انجام‌دهندگان آن به‌همراه ندارد. به‌عکس، طراحی مسیرهای مناسب حتی به‌صورت دستی و تجربی چنانچه درآمدی هم نداشته باشد، از سختی کار می‌کاهد. درنتیجه می‌توان ادعا کرد شیوه‌ی کنونی جمع‌آوری پسماند مبنای خوبی برای ارزیابی کیفیت جواب حاصل از روش پیشنهادی برای حل مسائل در ابعاد واقعی است. برای حصول اطمینان از قابلیت اتکاء جواب‌های به دست آمده از روش پیشنهادی، این مسئله برای سه ناحیه (نواحی ۱، ۳ و ۴) از شهرداری منطقه ۲ تهران حل می‌شود. جدول ۱ مشخصات نواحی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات نواحی ۱، ۳ و ۴ از شهرداری منطقه‌ی ۲.

	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	۴٫۰۰	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

مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم با روش حل تجربی استفاده‌شده در دنیای واقعی

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

۱. مسافت طی شده در یک سال. با استفاده از این شاخص، طول کل مسیر پیموده‌شده در یک سال در دنیای واقعی با طول کل مسیرهای به‌دست آمده توسط هرکدام از الگوریتم‌ها مقایسه می‌شود. در نهایت درصد بهبود این شاخص توسط این الگوریتم بیان می‌شود.

۲. میزان سوخت مصرفی در یک سال. اگر متوسط تخمینیِ مصرف سوخت وسایل نقلیه‌ی سنگین ۴۰ لیتر به‌ازای هر ۱۰۰ کیلومتر باشد، می‌توان با توجه به میزان کاهش مسافت پیموده‌شده، مقدار کاهش سوخت مصرفی را نیز محاسبه کرد. جدول ۲ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی را در مقایسه با حالت واقعی برای این دو شاخص نشان می‌دهد. با توجه به این که مخازن با رعایت فواصل ۱۵۰ متری در سطح شهر نصب می‌شوند، پراکندگی تقریباً یکسانی در سراسر شهر خواهند داشت. همچنین با توجه به این فرض که میزان متوسط پسماند در هر مخزن ۸۰ کیلوگرم است می‌توان میزان پسماند تولیدشده در سه ناحیه‌ی مورد بررسی را به دست آورد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن ۶۷۷۵ تن میزان پسماند تولیدشده در سراسر تهران در هر شبانه‌روز[۲۴] می‌توان مقدار تخمینیِ هر یک از شاخص‌های مطرح شده را برای کل تهران محاسبه کرد:

$$\text{نسبت پسماند تولید در کل تهران به نواحی مورد بررسی} = \frac{۶۷۷۵}{۶۳٫۶} = ۱۰۷$$

درنتیجه، مقدار تخمینیِ شاخص‌های مسافت و سوخت مصرفی برای کل تهران عبارت خواهد بود از:

میزان بهبود در نواحی مورد بررسی = میزان بهبود مسافت طی شده در تهران

$$\text{کیلومتر}۶۰۸۱۸۸ = ۱۰۷ \times (۱۰۹۰ + ۱۱۰۴ + ۳۹۴۰) = \times ۱۰۷$$

میزان بهبود در نواحی مورد بررسی = میزان بهبود سوخت مصرفی در تهران

$$\text{کیلومتر}۲۴۴۹۲۳ = ۱۰۷ \times (۴۳۶ + ۴۴۲ + ۱۴۱۱) = \times ۱۰۷$$

۳. هزینه‌ی نیروی کار و خریداری ماشین. اگر سرعت متوسط ماشین‌های جمع‌آوری ۵ کیلومتر بر ساعت فرض شود، با توجه به مقدار کاهش مسافت طی‌شده در سال می‌توان میزان صرفه‌جویی در ساعات کاری ماشین‌ها را محاسبه کرد، که برابر با ۱۲۱٫۶۳۸ ساعت در سال می‌شود. حال اگر فرض شود که به هر ماشین ۴ نفر نیروی کار تخصیص یافته است، میزان صرفه‌جویی ۴۸۶٫۵۵۰ نفر ساعت در سال می‌شود. از آنجا که هر نفر نیروی کار حدوداً ۱۴۴ ساعت در ماه کار می‌کند، میزان ساعات کاری هر نفر در سال ۱۷۲۸ ساعت می‌شود و درنتیجه می‌توان ۲۸۲ نفر نیروی کار صرفه‌جویی کرد. اگر متوسط هزینه‌های هر نفر برای سازمان ۶۰ میلیون ریال در سال باشد، مقدار صرفه‌جویی در هزینه‌های نیروی کار برابر با ۱۶٫۹۲۰ میلیون ریال می‌شود. از سوی دیگر با توجه به این که به‌ازای هر ماشین ۴ نیروی کار تخصیص یافته، میزان صرفه‌جویی در تعداد ماشین‌های جمع‌آوری نیز برابر ۷۰ عدد ماشین می‌شود که با فرض عمر مفید ۱۰ سال برای هر ماشین، کاهش هزینه‌ی خرید ماشین معادل با ۷۰۰۰ میلیون ریال می‌شود.

۴. کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی. با فرض سوخت دیزل برای ماشین‌های جمع‌آوری و درون‌شهری بودن مسیرهای جمع‌آوری، ضریب آلایندگی این ماشین‌ها برابر ۱۱٫۵۷ گرم بر مایل و معادل $۶٫۲۷ \times ۱۰^{-۷}$ تن بر کیلومتر می‌شود.[۲۵] از آنجا که میزان کاهش مسافت در طول یک سال برابر با ۶۰۸۱۸۸ کیلومتر است، میزان کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی برای کل شهر تهران در حدود ۴۰۰ کیلوگرم در سال خواهد بود. میزان بهبود هریک از شاخص‌ها و مقدار

جدول ۲. مقایسه‌ی 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

جدول ۳. میزان تخمینیِ بهبود شاخص‌ها در سال از طریق 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*)	۷۰ (عدد)	۲۸۲ (نفر)	
میزان بهبود ریالی هر شاخص (میلیون ریال)	-	۹۷۹٫۶۹۲	۱۶٫۹۲۰	۷٫۰۰۰	۲۴٫۹۰۰

* هزینه‌ی سوخت مصرفی ۴۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

صرفه‌جویی ناشی از آنها برای شهر تهران خلاصه‌وار در جدول ۳ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

این الگوریتم با یافتن مسیرهایی کوتاهتر می‌تواند به کاهش میزان مصرف سوخت (و درنتیجه کاهش آلودگی هوا)، استهلاک ماشین‌های جمع‌آوری و هزینه‌های نیروی انسانی کمک قابل توجهی کند. ضمناً تعریف ابعاد مسئله به‌صورت تعاملی با مشارکت کارشناسان موجب استفاده از فرضیات واقعی و نیز اعتماد به راه حل پیشنهادی می‌شود که علاوه بر دستاورد نظری، به پیاده‌سازی آن در دنیای واقعی نیز کمک می‌کند. این راه‌حل پیشنهادی قابلیت کاربرد در مسائل مشابه ــ مانند تعیین مسیر ماشین‌های حمل پول برای بانک‌ها یا شبکه‌ی توزیع مواد غذایی به سوپرمارکت‌ها ــ را نیز دارد. در ادامه‌ی این تحقیق استفاده از روش‌های هوشمند جست‌وجو نظیر الگوریتم مورچگان، شبیه‌سازی تبریدی و tabu search قابل بررسی است. ضمناً بهینه‌سازی برنامه‌ی رایانه‌یی نیز می‌تواند قابلیت اجرای روش پیشنهادی در حل مسائل واقعی را افزایش دهد.

پانوشت

1. zoning algorithm
2. capacitated arc routing problem (CARP)
3. vehicle routing problem (VRP)
4. node covering problem
5. arc covering problem
6. single (multi) travel salesman problems
7. Chinese postman problems
8. Chinese postman problem with load constraints
9. periodic vehicle routing problem (PVRP)
10. tabu search
11. periodic rural postman problem
12. depot
13. vehicle routing scheduling problem
14. time windows
15. mixed graph
16. mixed capacitated arc routing problem (MCARP)
17. interactive
18. route generating algorithm
19. combination algorithm

منابع

1. Alavi Moghaddam, R. and Sadeghcheh, T., *A Review on Solid Waste Management,* In Iran Jahesh Kimia Co. (1988).
2. Mahdavi Damghani, A.; Savarypour, G.; Zand, E. and Deihimifard, R. "Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges", *Waste Management,* **28**, (5), pp.929-934 (2008).
3. Chu, F.; Labadi, N. and Prins C. "A scatter search for the periodic capacitated arc routing problems", *European Journal of Operational Research,* **169**, pp. 586-605 (2004).
4. Bodin, L.; Golden, B.; Assad, A. and Bull, D. "Routing and scheduling of vehicles and scheduling of vehicles and crews: the state of the art", *Computer Operation Research,* **10**, pp. 63-111 (1983).
5. Lee, T. and Ueng, J. "A study of vehicle routing problems with load-balancing", *International Journal of Physical Distribution & Logistics,* **29**(10), pp. 646-658 (1999).
6. Chyu, C.C. and Chen, J.D. "An approximation algorithm for stacker-crane problems", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers,* **13**(1), pp. 61-70 (1996).
7. Viswanathan, S. and Mathur, K. "Integrating routing and inventory decisions in onewarehouse multiretailer multiproduct distribution systems", *Management Science,* **43**(3), pp. 15-30 (1997).
8. Lee, T.R.; Hung, M.L. and Liang, K.Y. "The application of SWOT and SPT in truck transportation industry - a case study of a truck transportation company", *Journal of Agricultural Financing,* **42**, pp. 307-23 (1998).
9. Lee, T.R. and Ueng, J.H. "A study of vehicle routing integer programming model with multiobjectives", *Agriculture Marketing Review,* **3**, pp. 197-210 (1998).
10. Lee, T.R. and Ueng, J.H. "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,* **34**(1), pp. 147-160 (1997).
11. Christofides, N. and Beasley, J. "The period routing problem" Networks, **14**, (2) pp. 237-256 (1984).
12. Beltrami, E. and Bodin, L.D. "Networks and vehicle routing for municipal waste collection", Networks, **4** (1), pp. 65-94 (1974).
13. Russell, R. and Igo, W. "An assignment routing problem Networks",**9** (1) pp. 1-17 (1979).
14. Cordeau, J.F.; Gendreau, M. and Laporte, G. "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems", *Computer Operation Research,* **51**, pp. 105-119 (1997).
15. Durmmond, L.; Ochi, L. and Vianna, D. "An asynchronous parallel metaheuristic for the period vehicle routing problem", *Future Generation Computer Systems,* **17**, pp. 379-386 (2001).
16. Ghiani, G.; Musmanno, R.; Paletta, G. and Triki, C. "A heuristic for the periodic rural postman problem", *Computers and Operations Research,* **32**(2), pp. 219-228 (2005).
17. Lacomme, P.; Prins, C. and Ramdane-Cherif, W. "Evolutionary algorithms for multi-period arc routing problems", *9th International Conference on Information Pro-*

cessing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2002, 01-05/07/02), Annecy, France, pp. 845-852 (2002).

18. Chu, F.; Labadi, N. and Prins, C. "Lower bounds for the periodic capacitated arc routing problem", *2nd International Workshop on Freight Transportation and Logistics (Odysseus 2003),* Palermo, Italy pp.27-30 (2003).
19. Bodin, L. and Golden, B. "Classification in vehicle routing and scheduling", Networks, **11**, (2) pp. 97-108 (1981).
20. Solomon, M.M. "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints", *Operations Research,* **35**, pp. 254-262 (1987).
21. Taillard, E.; Badeau, P.; Gendreau, M.; Guertin, F. and Potvin, J. "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows", *Transportation Science,* **31**, pp. 170-186 (1997).
22. Belenguera, J.; Benaventa, E.; Lacomme, P. and Prins, C. "Lower and upper bounds for the mixed capacitated arc routing problem", *Computers & Operations Research,* **33**, pp. 3363-3383 (2006).
23. Render, B.; Stair, R. and Hanna, M., *Quantitative Analysis for Management,* pearson prentice hall, pp. 21 (2006).
24. http://www.tehran.ir
25. URL:http://www.fhwa.dot.gov/environment/ freightaq/appendixb.htm