



طراحی بهینه مدل جامع جمع آوری پسماند شهری شهر اصفهان با رویکرد متمرکز تور پوششی و مسیریابی و با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی

فروغ آهانگری^{*۱}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، کارشناس برنامه ریزی و بودجه معاونت برنامه ریزی، پژوهش و فناوری اطلاعات

شهرداری اصفهان، اصفهان، ایران

*Ahangari.co@gmail.com

ارسال: مرداد ماه ۹۶ پذیرش: مهر ماه ۹۶

چکیده

امروزه دیگر نمی توان کلان شهرهای کشور را با روش های سنتی و مدیریت غیر علمی اداره کرد. از آنجایی که بیش از ۵۰ درصد کل مخارج مدیریت پسماندها، مربوط به مرحله جمع آوری است به نظر می رسد بهبود اندکی در عملیات جمع آوری، تأثیر قابل توجهی در صرفه جویی هزینه های کل داشته باشد. با بررسی سیستم جمع آوری پسماند شهری شهر اصفهان، یافته های پژوهش نشان داد که بین ۳۷.۰۳ تا ۷۹ درصد از مسافت کل طی شده در فرآیند اصلی جمع آوری مربوط به مسیر رفت و برگشت به/از سکو بوده که این بخش بین ۵.۰۴ تا ۱۱.۵۷ درصد از زمان کل را به خود اختصاص می دهد. بنابراین با مطرح شدن ایده به کارگیری ایستگاه انتقال موقت پسماند جهت اتصال مکانیزم های موجود در شبکه جمع آوری و حمل پسماند، یک مدل جامع برنامه ریزی خطی با رویکرد متمرکز مسیریابی وسایل نقلیه (دوره ای ظرفیت دار ناهمگن و ثابت همراه با پنجره زمانی) و تور پوششی فرموله و با الگوریتم فراابتکاری زنبور عسل مصنوعی در نرم افزار MATLAB پیاده سازی گردید. نتایج پژوهش، حاکی از کاهش مسافت و زمان در سیستم پسماند شهری ضمن به کارگیری تعداد بهینه وسایل نقلیه بوده است.

کلمات کلیدی: مسأله جمع آوری پسماند، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه، مسأله تور پوششی، الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی، ایستگاه انتقال پسماند

۱. مقدمه

با توجه به چشم انداز بیست ساله کشور و تکیه بر اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و اهمیت حفظ محیط زیست امروزه مدیریت پسماند یکی از ضروری ترین محورهای توسعه پایدار محسوب می گردد. بر اساس قانون شهرداری، جمع آوری، حمل و دفع مواد زاید به عهده شهرداری هاست. از آنجایی که بیشترین سهم هزینه های مدیریت مواد زاید به بخش جمع آوری پسماند اختصاص یافته است [۱]؛ بنابراین، امروزه در دنیا یکی از استراتژی های مهم در مدیریت مواد زاید اقدام در جهت کاهش هزینه های جمع آوری پسماند می باشد [۲]. از این رو بهینه سازی سیستم جمع آوری و حمل پسماند به صورت یک اصل در طراحی و مدیریت پسماند مطرح می گردد. این امر را می توان از طریق کاهش مسافت طی شده توسط ماشین های جمع آوری و حمل پسماند و در نتیجه کاهش هزینه های سوخت مصرفی و استهلاک انجام داد [۱]. از طرفی دیگر برای به

حداقل رساندن هزینه خدمات و کاهش آلودگی، ایستگاه انتقال پسماند مدیریت پسماند را بهبود بخشیده است و جمع‌آوری پسماند را از محل تولید تا محل دفع ساماندهی می‌کند [۳].

رفیعی، ماهینی و خراسانی در سال ۱۳۸۸ برای نخستین بار در ایران رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) را برای مقایسه روش‌های مختلف مدیریت پسماند در شهر مشهد (تعریف سه سناریو) به کار بردند. نتایج بررسی حاکی از آن بود که کاربرد ایستگاه‌های انتقال پسماند نقش مهمی در کاهش بار آلاینده‌ها و نیز مصرف انرژی ناشی از سامانه مدیریت پسماند دارد [۴].

کومیلیس ۲ (۲۰۰۸) در تحقیقی که در آتن انجام داد، اساس محاسبه‌ی مسیر بهینه حمل و نقل از منبع پسماند تا محل دفن را کاهش هزینه و زمان رفت و برگشت وسایل نقلیه در نظر گرفت. نتایج تحقیقات وی حاکی از آن بود که عامل اصلی کاهش هزینه به کارگیری ایستگاه انتقال پسماند می‌باشد. همچنین او مدل برنامه ریزی خطی و غیرخطی را برای بهینه‌سازی حمل و نقل و انتقال پسماندهای جامد شهری ارایه داد [۵].

پایدین ۳ و گنولو ۴ (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که به منظور بهینه‌سازی جمع‌آوری مواد زاید در شهر ترابزون ترکیه انجام دادند، به این نتیجه رسیده‌است که ۸۵ درصد هزینه‌ها برای جمع‌آوری و انتقال زباله صرف می‌شود که با بهینه‌سازی مسیرهای انتقال زباله و کاهش ۴ تا ۵۹ درصدی فاصله‌ها و ۱۴ تا ۶۵ درصدی زمان، می‌توان به میزان ۲۴ درصد از کل هزینه‌ها را کاهش داد [۶].

پایلی ۵ (۲۰۰۶) علت کمترین هزینه حمل و نقل را عامل اصلی مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند قرار داده و بر این اساس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، مکان بهینه ایستگاه انتقال پسماند را به صورت مدل ریاضی شناسایی کرده است. از نظر او، عامل اصلی صرفه جویی در هزینه حمل و نقل مکان ایستگاه انتقال پسماند نسبت به مکان دفع پسماند می‌باشد [۸].

بوویا و پاول ۶ (۲۰۰۵) رویکرد ارزیابی چرخه حیات را به منظور مشخص کردن نقش ایستگاه‌های انتقال در بخش جمع‌آوری و انتقال پسماند شهر در کاهش بار زیست محیطی بخش حمل و نقل به کار بردند. در این پژوهش دو سناریو جهت حمل و نقل در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج ارزیابی چرخه حیات نشان داد که ۱۶۸ درصد در کاهش بار، به کارگیری ایستگاه انتقال زیست محیطی نقش دارد [۹].

کوشکی ۷، الدوآج ۸ و الگیملاس ۹ (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای که در کویت انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که اساسی‌ترین مخارج جمع‌آوری و حمل زباله‌ها، هزینه‌های انرژی و دستمزد کارگران می‌باشد [۹]. این نتایج با مطالعه‌ای که چالکیاس ۱۰ و لاساریدی ۱۱ در سال ۲۰۰۹ در یونان انجام داده‌اند مطابقت دارد [۱۰].

عشورنژاد، طاهری، و عباسپور (۱۳۹۲) فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی را در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان به کارگیری نمودند [۱۱].

شکرریزفرد.م، طالب بیدختی، و شکرریزفرد.ب. (۱۳۸۸) در شیراز به محاسبه همزمان بهترین مسیر حمل پسماند شهری و مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند با Arc GIS پرداختند. برای این منظور برنامه غیرخطی باینری تهیه کردند که تابع هدف مدل مربوطه نیز حداقل کردن مجموع هزینه‌های حمل پسماند به محل ایستگاه‌های انتقال است [۱۲].

1 Life Cycle Impact Assessment (LCA)

2 Komilis

3 Paydyn

4 Gonullu

5 Paily

6 Bovea, M.D & Powell

7 Koushki

8 Al-Duaij

9 Al-Ghimlas

10 Chalkias

11 Lasaridi

تحقیقات متنوعی با استفاده از کلونی زنبور عسل و ترکیب آن‌ها با سایر الگوریتم‌ها برای حل مسأله مسیریابی خودرو صورت گرفته است که نشانگر توانایی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی است [۱۳].

بهگد ۱ و پورانیک ۲ (۲۰۱۲) از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی به منظور حل مسأله مسیریابی خودرو استفاده کردند [۱۴] کردند [۱۴].

در سال ۱۳۹۲، امین سیف پایان نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان ارزیابی کارایی الگوریتم زنبور عسل در حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ۳ (VRP) در رشته مهندسی عمران در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ارائه داد [۱۵]. رحیمی و رضانی خوانساری (۱۳۹۳) الگوریتم غذایابی کندوی زنبور عسل را برای حل مسأله مسیریابی خودرو توسعه دادند [۱۳].

در سال ۱۳۹۱، رضانی خوانساری پایان نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان بهینه‌سازی مسأله مسیریابی خودرو با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در رشته مهندسی عمران در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی ارائه نمود [۱۷].

هادوی (۱۳۸۸) پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات با موضوع مسیریابی چندمقصدی با محدودیت‌های چندگانه با استفاده از الگوریتم کندوی زنبور عسل ارائه نمود [۱۸].

از آنجایی که (۱) مقدار مواد زاید جامد به دلیل رشد جمعیت به ویژه در مناطق شهری افزایش یافته است [۱۸]. (۲) با حذف یارانه‌های حامل‌های انرژی هزینه‌های جمع‌آوری پسماند افزایش چشم‌گیری داشته است. (۳) محدوده انجام امور (داخل شهر) ایجاب می‌کند که مسایل بهداشتی و زیبایی شناسی نیز مورد توجه مدیریت مواد زاید شهری قرار گیرد [۱۸]. (۴) عدم جمع‌آوری صحیح و به موقع پسماندهای شهری موجب آلودگی‌های آبی بویایی و بصری شده و علاوه بر ایجاد بار روانی بر شهروندان، تجمع انواع حشرات و حیوانات موذی سلامت جامعه را تهدید می‌کند. (۵) عدم نگهداری و جمع‌آوری صحیح زباله موجب آلودگی هوا شده و شیرابه حاصله سبب آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک می‌گردد. تخمیر مواد فساد-پذیر در زباله باعث انتشار بوهای نامطبوع در محیط شده که خود باعث آزار مردم می‌گردد [۱۹]. (۶) بر اساس نظریه W.H.O جمع‌آوری صحیح زباله در اماکن شهری و روستایی ۸۵ درصد موجب نابودی مگس و ۶۵ درصد مبارزه با موش و جوندگان را بدون استفاده از سموم خواهد شد [۲۰]. پژوهش پیش رو در نظر دارد برای اولین بار با رویکرد متمرکز تور پوششی و مسیریابی و با به کارگیری از الگوریتم فراابتکاری زنبور عسل مصنوعی، سیستم جمع‌آوری و حمل و نقل پسماندهای جامد شهری شهر اصفهان را بهینه نماید. با مروری بر پیشینه پژوهش و منابع داخلی و خارج از کشور می‌توان یافت که بررسی این موضوع به این جامعیت تاکنون مطرح نشده است چه بسا که موضوع بهینه‌سازی مسیر وسایل نقلیه جمع‌آوری و حمل پسماند به عنوان یک جزء از کل موضوع پژوهش تاکنون در شهر اصفهان با روش علمی ارائه نشده است. ضمن آنکه در این پژوهش استفاده از الگوریتم فراابتکاری زنبور عسل مصنوعی در جهت حل مسأله پیشنهاد شده است. مورد دیگر که این مطالعه را متمایز کرده است پیشنهاد استفاده از ایستگاه‌های موقت در کنار ایستگاه‌های ثابت انتقال پسماند است. مدل رویکرد مسیریابی پژوهش، یک مسأله مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه ظرفیت‌دار با پنجره‌های زمانی سخت و نرم با ناوگان ناهمگن و ثابت می‌باشد که با مروری با تحقیقات پیشین می‌توان گفت تاکنون مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند با این جامعیت تعریف نشده است بلکه تنها در ۵ دسته (۱) مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند با پنجره‌های زمانی. (۲) مسأله مسیریابی قوسی ماشین‌های جمع‌آوری پسماند (۳) مسأله مسیریابی قوسی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند ظرفیت‌دار (۴) مسأله مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند (۵) مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار جمع‌آوری پسماند بررسی شده است.

1 Bhagade

2 Puranik

3 Vehicle Routing Problem

قلمرو پژوهش، بهینه‌سازی سیستم جمع‌آوری و حمل پسماند شهری شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ می‌باشد. هدف از طرح مسأله پژوهش ضمن بررسی توجیه پذیر بودن به کارگیری ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند در کنار ایستگاه‌های ثابت انتقال، ارایه مدلی جامع است که بتواند مسیر حرکت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند را با در نظر گرفتن استقرار ایستگاه‌های انتقال پسماند به صورت بهینه تعیین نماید به گونه‌ای که به اهداف زیر نایل گردد: (۱) تعداد مناسب سکوها میانی برای شهر اصفهان تعیین گردد. (۲) تعیین شود کدام یک از نقاط کاندیدا برای احداث سکوها میانی قابل انتخاب است. (۳) مجموع مسافت طی شده/زمان صرف شده در کل منطقه کاهش یابد. (۴) هر ماشین در طول مسیر با توجه به ظرفیت خود بیشترین مقدار را جمع‌آوری کرده و سپس به ایستگاه میانی برای تخلیه برود. (۵) تعداد بهینه ناوگان جمع‌آوری و حمل پسماند تعیین شود. در ادامه، پس از بیان روش پژوهش و بررسی فرضیه، مدل ریاضی مسأله به همراه مفاهیم مرتبط ارایه شده است و در انتها یافته‌ها و نتایج پژوهش آمده است.

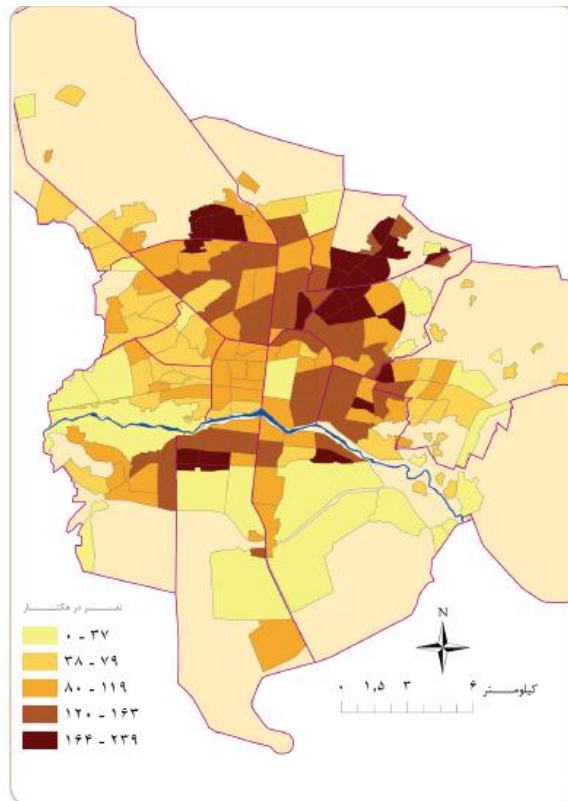
۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش پس از مطالعه کتابخانه‌ای، مرور ادبیات و بررسی کارهای انجام شده توسط دیگران خلأ تحقیقاتی با مقایسه کارهای انجام شده شناسایی گردید. در مرحله بعد با مشاهده میدانی و مصاحبه با کارشناسان صاحب نظر در حوزه خدمات شهری، آگاهی نسبی پیرامون سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان حاصل و بر اساس آن پرسشنامه متناسب با طرح پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها تهیه و تنظیم گردید. پس از ارایه آموزش اولیه درباره نحوه تکمیل پرسشنامه‌ها، به صورت پایلوت جمع‌آوری داده‌ها صورت گرفته و با دریافت بازخورد، پرسشنامه تکمیلی طراحی گردید. سپس با انتخاب روش نمونه‌گیری، تعیین حجم نمونه، انتخاب پرسشگران، آموزش تکمیلی آن‌ها و جمع‌آوری داده‌های پژوهش، وضع موجود سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان با تحلیل داده‌ها شناسایی شد ضمن آنکه فرآیند آن ترسیم گردید. سپس گسسته‌سازی پهنه شهر اصفهان در قالب گره‌های تولید پسماند صورت گرفته شد. پس از آن تعاریف و اصطلاحات پژوهش تعریف و متغیرها و ویژگی‌های مسأله (تعداد ۳۹۰ شاخص) شناسایی شد. با توجه به چارچوب پژوهش انواع مدل‌های مرتبط با مسأله بررسی و قالب‌بندی ریاضی آن مطالعه و در نهایت مدل بهینه‌سازی سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان فرموله گردید. با توجه به توجیه پذیر بودن فرض به کارگیری ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند بر اساس یافته‌های پژوهش، مدل مسأله با رویکرد متمرکز تور پوششی و مسیریابی ارایه گردید. با در نظر گرفتن توانایی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در حل مسایل بهینه‌سازی، در این پژوهش به کارگیری آن الگوریتم برای حل مسأله پیشنهاد شد. در نهایت مسأله پژوهش بر اساس الگوریتم ABC در نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی گردید و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت.

نوع پژوهش کاربردی-توسعه‌ای و روش بررسی توصیفی-تحلیلی و جامعه مورد مطالعه شهرستان اصفهان می‌باشد. بر اساس گزارش آخرین وضعیت، شهر اصفهان دارای ۱۵ منطقه شهری است که در سال ۱۳۹۱ منطقه ۱۵ (خوراسگان) به مجموعه مناطق شهر اصفهان افزوده شده است. با توجه به امکان جمع‌آوری اطلاعات ۱۴ منطقه از مجموعه مناطق پانزده گانه شهر اصفهان، روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند می‌باشد.

بر اساس آمارنامه شهر اصفهان در سال ۱۳۹۰ جمعیت شهر اصفهان ۹۶۷،۷۹۶،۱ نفر بوده است که این میزان معادل ۳۶۸۳ درصد جمعیت شهرستان را در بردارد [۲۱]. بر اساس آمارنامه شهر اصفهان (۱۳۹۲)، شهر اصفهان دارای ۱۵ منطقه شهری است. هر منطقه بر اساس وسعت خود در کوچکترین مقیاس ۶ محله و در بزرگترین مقیاس به ۲۳ محله تقسیم شده است. به نحوی که بزرگترین و کوچکترین مناطق شهر اصفهان از لحاظ وسعت با در نظر گرفتن کل محدوده و حریم قانونی به ترتیب مناطق ۱۲ و ۱، از لحاظ جمعیت به ترتیب مناطق ۸ و ۱۱ و از لحاظ تراکم به ترتیب مناطق ۸ و ۱۲ از سایر مناطق پیشی گرفته‌اند. در مقابل بیشترین و کمترین میزان متوسط روزانه تولید پسماند خانگی به ترتیب مربوط به مناطق ۸ و ۱۱ و بیشترین و کمترین سرانه روزانه تولید پسماند تر مربوط به مناطق ۱ و ۱۲ می‌باشد. سرانه تولید زباله هر شهروند اصفهانی ۴۳۴

گرم می‌باشد و سهم پسماند تر از کل پسماند خانگی تولید شده (خشک و تر) ۸۵.۹۴ درصد می‌باشد [۲۲]. در شکل زیر نقشه تراکم جمعیتی شهر اصفهان بر گرفته از آمارنامه شهر اصفهان (۱۳۹۲) ارائه گردیده است:



شکل ۱- نقشه تراکم جمعیتی محلات شهر اصفهان

۳. بررسی فرضیه پژوهش

با توجه به آنکه در فرآیند اصلی جمع‌آوری زباله (خالص) درصد مسافت طی شده در گره‌های تقاضا و در مسیر رفت به سکو و برگشت از آن، به ترتیب بین ۲۱ تا ۶۲.۹۷ درصد و بین ۳۷.۰۳ درصد تا ۷۹ درصد می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت عمده مسافت در سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان در مسیر رفت به سکو و برگشت از آن می‌باشد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد عمده زمان صرف شده در فرآیند جمع‌آوری پسماند مربوط به گره‌های تقاضا می‌باشد. (شکل‌های ۲ و ۳) ضمن آنکه دلیل اصلی انتظار در سکو، صف سکو عنوان شده است. با توجه به مناطق ۱۵ گانه شهر اصفهان و به کارگیری تنها ۳ ایستگاه ثابت انتقال پسماند، به نظر می‌رسد به کارگیری ایستگاه‌های موقت پسماند در کنار ایستگاه‌های انتقال ثابت پسماند به عنوان یک راه حل مناسب قابل‌ارایه است.

در حال حاضر، بدون در نظر گرفتن خروجی پروژه با یادآوری متغیرهای مسأله، کل هزینه جمع‌آوری پسماند به صورت ذیل است:

$$A = im_1 \times (T + TS) + (P \times D \times O) + (P \times DS \times OS) \quad (1)$$

و کارایی فرآیند جمع‌آوری زباله برابر است با:

$$= \frac{im_1 \times T + (P \times D \times O)}{im_1 \times (T + TS) + (P \times D \times O) + (P \times DS \times OS)} \quad (2)$$

که در آن:

im_1 : متوسط هزینه هر ساعت پرسنل ماشین‌های حمل پسماند در یک ماه

T: کل زمان صرف شده بین گره‌های تولید جمع‌آوری پسماند

TS: کل زمان صرف شده از گره‌های تولید به سکوها و برگشت

P: بهای سوخت

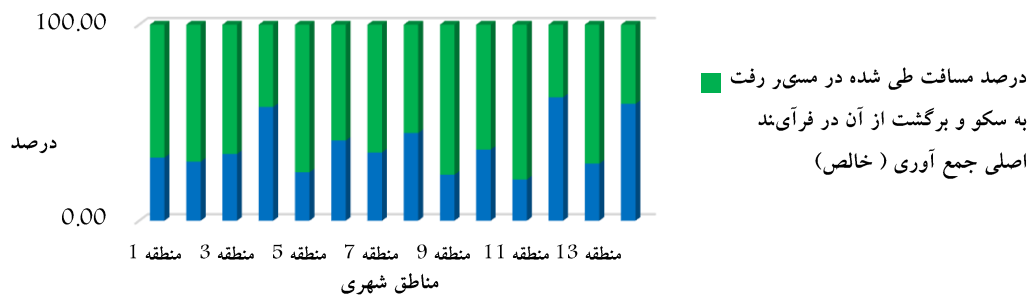
D: کل مسافت طی شده بین گره‌های تولید جمع‌آوری پسماند

DS: کل مسافت طی شده از گره‌های تولید به سکوها و برگشت

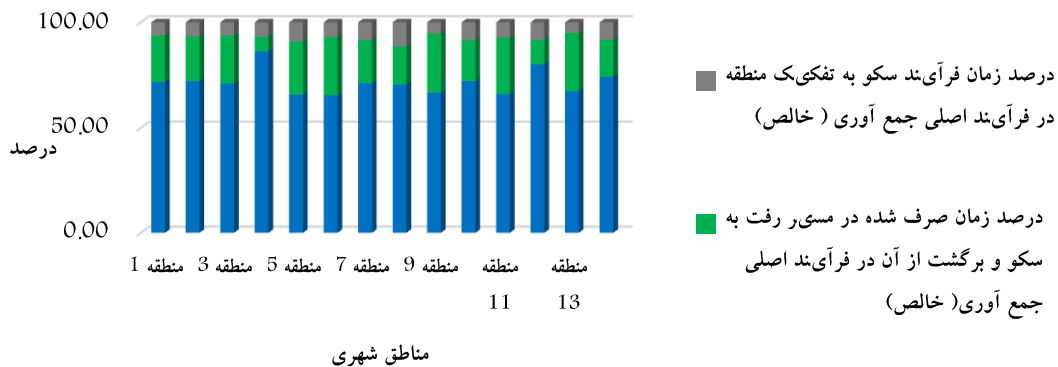
O: متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین‌های حمل پسماند جهت حمل پسماند از گره‌های تولید

OS: متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین‌های جمع‌آوری پسماند به سکوی تخلیه و بازگشت

در صورتی که بتوان TS و DS را کاهش داد کارایی فرآیند و پیامد آن بهره‌وری فرآیند جمع‌آوری زباله افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن فرمول کارایی فرآیند جمع‌آوری زباله و در جهت افزایش بهره‌وری فرآیند یک راه کاهش TS و DS استفاده از سکوهای میانی جمع‌آوری زباله (هاب‌ها) می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد به کارگیری ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند در کنار نوع ثابت آن در سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان توجه پذیر باشد.



شکل ۲- درصد مسافت طی شده در فرآیند اصلی جمع‌آوری پسماند شهری-خالص

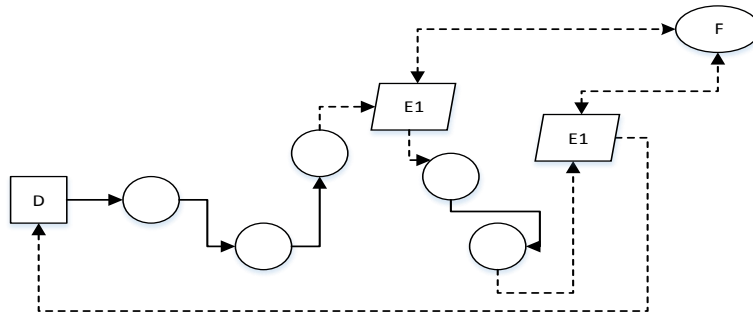


شکل ۳- درصد زمان صرف شده در فرآیند اصلی جمع‌آوری پسماند شهری-خالص

۴. بیان ریاضی مسأله

پس از جمع آوری اطلاعات، گسسته‌سازی پهنه شهر اصفهان در قالب گراف صورت گرفته شد. با توجه به چارچوب نظری و روش پژوهش و با در نظر گرفتن توجیه پذیر بودن به کارگیری از ایستگاه‌های انتقال موقت پسماند در کنار نوع ثابت آن، مدل ریاضی مسأله به طور همزمان مسیریابی وسایل نقلیه جمع آوری و حمل پسماند را با رویکرد متمرکز تور پوششی و مسیریابی فرموله می‌کند.

در شکل زیر نمای کلی نحوه جمع آوری پسماند شهری شهر اصفهان نمایش داده شده است که در آن D نمادی از ایستگاه ابتدایی (پارکینگ ماشین آلات)، E_1 یک ایستگاه از مجموعه ایستگاه‌های انتقال پسماند (ثابت یا موقت) و F مرکز دفع بوده و مناطق دایره‌ای شکل نیز گره‌های تولید پسماند را نشان می‌دهند.



شکل ۴- نمای کلی نحوه جمع آوری پسماند شهری شهر اصفهان

مسأله به صورت زیر تعریف می‌شود:

گراف $G = (V, A)$ را در نظر بگیرید که در آن مجموعه گره‌های $V = V^d \cup V^c \cup V^e \cup V^f$ و یک مجموعه از کمان‌ها به صورت $A = \{(i, j), i, j \in V, i \neq j\}$ تعریف می‌شود. مجموعه گره‌ها به شرح زیر قابل بیان است: (۱) یک انبار مرکزی (پارکینگ ماشین آلات) $V^d = \{0\}$ (۲) n گره تقاضا $V^c = \{1, \dots, n\}$ (۳) m ایستگاه انتقال پسماند $V^e = \{n+1, \dots, n+m+1\}$ به طوری که $m = m_1 + m_2$ که m_1 معرف تعداد ایستگاه ثابت انتقال پسماند مجموعه V^{e_1} و m_2 معرف تعداد ایستگاه موقت انتقال پسماند مجموعه V^{e_2} می‌باشد. (۴) یک مرکز دفع $V^f = \{n+m+2\}$

اهم مفروضیات مسأله به صورت زیر است: (۱) هر منطقه دارای دو برنامه زمانی می‌باشد. برنامه زمانی اول شامل روزهای با عدد تاریخ زوج ماه و برنامه زمانی دوم شامل روزهای با عدد تاریخ فرد ماه می‌باشد. از آنجایی که در روز ۳۱ ام ماه پسماند در سطح مناطق جمع آوری نمی‌گردد؛ بنابراین این روز در هیچ کدام از برنامه‌های زمانی در نظر گرفته نمی‌شود. (۲) هر گره تولید پسماند باید به یک برنامه ملاقات با حداقل تعدادی روزهای بازدید اختصاص داده شود. (۳) مکان ایستگاه مرکزی (پارکینگ ماشین آلات) ثابت و از قبل مشخص است. (۴) مقدار پسماند تولیدی در هر منطقه مشخص است و مساوی است با ضریب تراکم جمعیتی منطقه ضریب سرانه تولید پسماند در منطقه ضریب جمعیت شهر. (۵) زمان در دسترس محدود است به طوری که زمان سفر برای هر ماشین جمع آوری پسماند نباید از زمان کل در دسترس تجاوز کند. (۶) در طول زمان در دسترس پسماند کلیه گره‌های تولید باید جمع آوری شود. (۷) زمان شروع ارایه خدمت در تمامی مناطق شهری از قبل مشخص می‌باشد. (۸) آخرین زمان ترک ایستگاه انتقال ثابت پسماند از قبل مشخص می‌باشد. (۹) زمان پایان ارایه خدمت در تمامی مناطق شهری از قبل مشخص می‌باشد. (۱۰) میانگین زمان سرویس برای هر گره مشخص است. (۱۱) میانگین زمان انتظار در ایستگاه انتقال پسماند مشخص است. (۱۲) میانگین زمان جهت تخلیه در ایستگاه انتقال پسماند و حداکثر کردن ظرفیت خالی جهت سرویس مجدد مشخص است. (۱۳) تعداد گره در شبکه راه موجود و میزان تقاضا برای هر یک مشخص است. (۱۴) به هر گره تولید پسماند فقط یک یال وارد و از هر گره تولید پسماند فقط یک یال خارج می‌شود. (۱۵) هر مجموعه گره دارای یک پنجره

زمانی است. (۱۶) تقاضای هر گره تولید پسماند توسط یک وسیله نقلیه جمع آوری و در یک ملاقات برآورده شود. (۱۷) مسیرهای مجاز (زیرمجموعه‌ای از مسیرهای شبکه راه‌ها) موجود است. (۱۸) تعداد ناوگان جمع آوری پسماند مقداری مشخص است. (۱۹) ناوگان جمع آوری پسماند غیر یکنواخت است. (۲۰) هر ماشین جمع آوری پسماند به همان گره‌ای که وارد می‌شود از همان گره نیز خارج می‌شود. (۲۱) هر وسیله نقلیه یک مشتری را در یک روز مشخص بازدید می‌کند همچنین باید مشتری را در یک روز تعیین شده ترک نماید. (۲۲) مجموع تقاضا برای هر ماشین جمع آوری پسماند نباید از ظرفیت آن تجاوز کند. (۲۳) سرعت برای وسایل نقلیه جمع آوری پسماند مقداری ثابت است. (۲۴) هر ماشین جمع آوری پسماند پس از تکمیل ظرفیت به سمت ایستگاه انتقال پسماند می‌رود. (۲۵) مقدار زباله تخلیه شده در ماشین هاب نباید از ظرفیت آن تجاوز کند. (۲۶) هر ماشین هاب بعد از تکمیل ظرفیت به مرکز دفع پسماند می‌رود. (۲۷) هر خودرو جمع آوری پسماند و ماشین هاب شروع و پایان مسیرش از یک ایستگاه (پارکینگ ماشین آلات) است. (۲۸) هر منطقه پتانسیل احداث یک ایستگاه موقت انتقال پسماند را دارد. (۲۹) هر منطقه به یک ایستگاه انتقال پسماند مرتبط می‌شود. (۳۰) تعداد ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند مجاز جهت تأمین در شبکه حمل و نقل یک مقدار مشخص است. (۳۱) تعداد ایستگاه‌های ثابت انتقال پسماند یک مقدار مشخص است. (۳۲) تعداد ماشین‌های هاب مورد استفاده در هر ایستگاه پسماند مشخص است. (۳۳) ناوگان حمل پسماند (ماشین هاب) غیر یکنواخت است. (۳۴) مکان مراکز بالقوه ایستگاه موقت انتقال پسماند با توجه به ملاحظات زیست محیطی و سایر شاخص‌های تأثیرگذار در تصمیم‌گیری در هر یک از مناطق از قبل مشخص است. (۳۵) مکان ایستگاه‌های ثابت انتقال پسماند مشخص است. (۳۶) همه ایستگاه‌های انتقال پسماند می‌توانند برای ملاقات شدن مورد استفاده قرار گیرند به طوری که همه گره‌های تولید پسماند باید پوشانده شوند. (۳۷) یک گره تولید پسماند پوشیده می‌شود اگر فاصله آن تا یک مرکز ایستگاه انتقال پسماند کوچکتر از فاصله پوششی باشد. (۳۷) فاصله پوشش از پیش تعیین شده و ثابت است. (۳۹) تقاضای هر گره تولید پسماند توسط یک ایستگاه انتقال پسماند تأمین می‌شود. (۴۰) هر ایستگاه انتقال پسماند به مقدار مشخصی می‌تواند جریان ورودی را تحمل کند که این فرض بحث ظرفیت محدود را مطرح می‌کند. (۴۱) در سرویس دهی به مشتریان تنها از وسایل نقلیه موجود (ماشین-های جمع آوری و هاب) استفاده شود. (۴۲) هزینه احداث هر کدام از ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند متفاوت بوده و از قبل مشخص است. (۴۳) هزینه به کارگیری هر نوع از ماشین جمع آوری و حمل پسماند مقداری ثابت است. (۴۴) هزینه هر واحد زمانی کارکرد (اجاره) از هر نوع ماشین جمع آوری و حمل مشخص است. (۴۵) هزینه برای هر نوع وسایل نقلیه جمع آوری مقداری ثابت و مشخص فرض می‌شود. (۴۶) هزینه برای هر نوع ماشین هاب مقداری ثابت و مشخص فرض می‌شود. (۴۷) تمامی زیر تورها باید حذف گردد.

نماد گذاری‌های مرتبط با مدل به صورت زیر است:

E : تعداد مناطق شهری

n : تعداد گره تولید پسماند در منطقه

$card_j$: تعداد گره‌هایی که توسط ایستگاه انتقال پسماند در نقطه j پوشش داده می‌شود.

m_1 : تعداد ایستگاه انتقال ثابت پسماند فعال در سطح شهر

m_2 : تعداد ایستگاه موقت انتقال پسماند کاندید برای احداث

p : حداکثر تعداد ایستگاه موقت انتقال پسماند انتخاب شده

k : تعداد خودروهای در دسترس جمع آوری پسماند در منطقه

l : انواع خودروهای در دسترس جمع آوری پسماند در سطح شهر

h : تعداد ماشین‌های هاب در دسترس در سکوی انتقال پسماند مرتبط با منطقه

r : انواع ماشین‌های هاب در دسترس در سکوی انتقال پسماند در سطح شهر

M : یک عدد بینهایت بزرگ

S_i : مجموعه‌ای از برنامه‌های زمانی برای گره‌های تولید پسماند

D : تعداد از روزها

N_j : مجموعه نقاط ایستگاه انتقال پسماند مستقر در فاصله قابل قبول از گره تولید پسماند i

S : شعاع پوششی ایستگاه انتقال پسماند (بیشترین فاصله قابل قبول برای خدمت رسانی)

Q_k^{Kh} : ظرفیت خودرو جمع‌آوری پسماند k ام

Q_h^{Hu} : ظرفیت ماشین هاب h ام

q_i : میزان تقاضا گره‌های تولید پسماند, $i \in V^c$

t_{ij} : زمان سفر از گره i به j , $i, j \in V$, $i \neq j$

G_i : زمان ورود خودرو جمع‌آوری پسماند به گره i , $i \in V$

T_i : مدت ارایه خدمت برای گره i , $i \in V$

f_i : مدت زمان انتظار در گره i , $i \in V$

mt_k : ماکزیمم زمان سفر اجازه داده شده به خودرو جمع‌آوری پسماند k

e_i : حد پایین پنجره زمانی نرم در گره i , $i \in V$

l_i : حد بالای پنجره زمانی نرم در گره i , $i \in V$

Le_i : زودترین زمان شروع ارایه خدمت در گره i (حد پایین پنجره زمانی سخت), $i \in V$

Ul_i : دیرترین زمان پایان ارایه خدمت در گره i (حد بالای پنجره زمانی سخت), $i \in V$

Ye_i : مقدار زمان زودکرد ارایه خدمت در گره i , $i \in V$

Yl_i : مقدار زمان دیرکرد ارایه خدمت در گره i , $i \in V$

Pe : جریمه یک واحد زمان زودکرد ارایه خدمت

Pl : جریمه یک واحد زمان دیرکرد ارایه خدمت

a : میانگین سرعت حرکت خودرو جمع‌آوری پسماند و ماشین هاب

d_{ij} : فاصله بین گره i به j , $i, j \in V$, $i \neq j$

Z_{ijd}^{Kh} : هزینه یک واحد سفر خودرو جمع‌آوری پسماند از گره i به j در روز d , $d \in D$ و $i, j \in V$, $i \neq j$

Z_{ijd}^{Hu} : هزینه یک واحد سفر ماشین هاب از گره i به j در روز d , $d \in D$ و $i, j \in V$, $i \neq j$

λ_k^{Kh} : هزینه استفاده (اجاره) خودرو جمع‌آوری پسماند k ام

λ_h^{Hu} : هزینه استفاده (اجاره) ماشین هاب h ام

$C = [c_{ij}]$: ماتریس هزینه که بر روی A تعریف می‌شود.

c'_{ijd} : هزینه پوشش هر یال $(i, j) \in A$ در روز d

c_j : هزینه ثابت استقرار ایستگاه موقت انتقال پسماند در نقطه j

$W = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7)$: بردار وزن که مؤلفه‌های آن به صورت زیر است و در آن $\sum_{i=1}^7 W_i = 1$

W_1 : وزن هزینه‌های مرتبط با مسافت طی شده با خودرو جمع‌آوری پسماند در تابع هدف

W_2 : وزن هزینه‌های مرتبط با مسافت طی شده با ماشین هاب در تابع هدف

W_3 : وزن هزینه‌های مرتبط با اجاره خودرو جمع‌آوری پسماند در تابع هدف

W_4 : وزن هزینه‌های مرتبط با اجاره ماشین هاب در تابع هدف

W_5 : وزن هزینه‌های مرتبط با جریمه‌های زودکرد و دیرکرد ارایه خدمت در تابع هدف

W_6 : وزن هزینه‌های مرتبط با پوشش هر یال $(i, j) \in A$

W_7 : وزن هزینه‌های مرتبط با استقرار ایستگاه موقت انتقال پسماند در نقطه z

U_{ijdk}^{Kh} : مقدار پسماندی که وسیله نقلیه k ام هنگام سفر از گره i به z در روز d حمل می‌کند.

V_{is} : اگر گره تولید پسماند i به برنامه زمانی s اختصاص داده شود مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند.

A_{sd} : اگر روز d یک روز بازدید در برنامه زمانی s باشد مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند.

B_{ijd}^{Hu} : اگر تقاضای گره i توسط ایستگاه انتقال z در روز d تأمین شود، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند.

X_{ijdk}^{Kh} : اگر خودرو جمع‌آوری پسماند k در روز d به طور مستقیم از گره i به گره z برود مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند.

O_{dk}^{kh} : تعداد سفر خودرو جمع‌آوری پسماند k در روز d

X_{ijdh}^{Hu} : اگر ماشین هاب h در روز d به طور مستقیم از گره i به گره z برود مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند.

O_{dh}^{hu} : تعداد سفر ماشین هاب h در روز d

Y_{dk}^{Kh} : اگر خودرو جمع‌آوری پسماند k در روز یک مسیر را طی کند مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر را اختیار می‌کند.

Y_{dk}^{Hu} : اگر ماشین هاب h در روز d یک مسیر را طی کند مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر را اختیار می‌کند.

M_{ija} : اگر روز d منطقه i به ایستگاه انتقال پسماند z مرتبط باشد مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر اختیار می‌کند. $i \in E, j \in m$

$\alpha = [\alpha_{ij}]$: یک ماتریس $n \times m$ است و α_{ij} برابر با یک است اگر گره تولید پسماند i توسط ایستگاه انتقال پسماند z پوشانده شود و در غیر اینصورت برابر با صفر است.

D_{ijk} : مقدار تقاضای گره پسماند i که توسط ماشین هاب k و در حال ویزیت کردن مرکز ایستگاه انتقال پسماند z ، تأمین می‌گردد.

X_j : برابر با یک است اگر مرکز بالقوه z ام برای احداث ایستگاه موقت پسماند انتخاب شود و در غیر اینصورت برابر با صفر است.

Y_{jk} : برابر با یک است اگر ایستگاه انتقال نقطه z توسط ماشین هاب k تأمین شود و در غیر اینصورت صفر است.

U_{jk} : یک متغیر آزاد است که در محدودیت‌های حذفی زیرتورها استفاده شده است.

هدف، حداقل نمودن مجموع هزینه‌های جمع‌آوری پسماند از گره‌های تولید پسماند و حمل پسماند به ایستگاه انتقال ثابت است. با توجه به پارامترها و متغیرهای تعریف شده، مدل ریاضی پیشنهادی به صورت زیر فرموله می‌شود که یک مدل برنامه-ریزی خطی-عدد صحیح می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & W_1 \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} Z_{ijd}^{Kh} d_{ij} X_{ijdk}^{Kh} + W_2 \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} Z_{ijd}^{Hu} d_{ij} X_{ijdh}^{Hu} + W_3 \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} Y_{dk}^{Kh} \lambda_k^{Kh} \\ & + W_4 \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} Y_{dk}^{Hu} \lambda_h^{Hu} + W_5 \sum_{i \in V} (Y e_i \times P e) + (Y l_i \times P l) + W_6 \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{d \in D} c'_{ijd} B_{ijd}^{Hu} \\ & + W_7 \sum_{j \in m_2} c_j x_j \end{aligned} \quad (3)$$

تابع هدف اشاره شده در بالا از ۷ جزء تشکیل شده است. جزء اول تابع هدف درباره کاهش مسیرهای (مسافت) طی شده در گره‌های تولید پسماند می‌باشد که مربوط به هزینه‌های سفر می‌شود. جزء دوم تابع هدف در نظر دارد مسیرهای (مسافت) طی شده جهت حمل پسماند را کاهش دهد که مربوط به هزینه‌های حمل می‌شود. جزء سوم و چهارم تابع هدف در نظر دارد وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند و ماشین‌های هاب حمل پسماند را به طور بهینه کمینه نماید و جزء پنجم تابع هدف نیز با توجه به شرایط مسأله، پنجره زمانی را برای مدل در نظر گرفته است و مربوط به هزینه‌های عدم سرویس به موقع (زودکرد یا دیرکرد) می‌باشد. جزء ششم تابع هدف در نظر دارد هزینه‌های پوشش شبکه را کاهش دهد و جزء هفتم نیز کاهش هزینه‌های استقرار ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند را به دنبال دارد.

محدودیت‌های مسأله به صورت زیر است:

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{ijdk}^{Kh} + X_{ijdh}^{hu} = \begin{cases} 1, & j \in V^c \\ k+h, & j \in V^d \end{cases}, d \in D, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} X_{ijdk}^{Kh} + X_{ijdh}^{hu} = \begin{cases} 1, & i \in V^c \\ k+h, & i \in V^d \end{cases}, d \in D \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} X_{0j dk}^{Kh} = 1 \quad k \in K, d \in D \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ip dk}^{Kh} - \sum_{j \in V} X_{pj dk}^{Kh} \quad p \in V, d \in D \quad (7)$$

$$\sum_{i \in V} q_i \sum_{j \in V} X_{ij dk}^{Kh} \leq Q_k^{Kh} \quad k \in K, d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V} \sum_{k \in K} X_{0j dk}^{Kh} = O_{dk}^{kh} \quad k \in K, d \in D \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{i0 dk}^{Kh} = O_{dk}^{kh} \quad k \in K, d \in D \quad (10)$$

$$Z_k \geq X_{ij dk}^{Kh} \quad i \neq j, i, j \in V, k \in K, d \in D \quad (11)$$

$$Z_k = 0 \quad \text{if} \quad X_{00 dk}^{Kh} = 1 \quad k \in K, d \in D \quad (12)$$

$$Z_k \geq 1 \quad \text{if} \quad X_{00 dk}^{Kh} = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{s \in S_i} V_{is} = 1 \quad i \in V \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{j \in V \\ \in K}} \sum_{k \in K} X_{ijdk}^{Kh} - \sum_{s \in S_i} A_{sd} V_{is} = 0 \quad , i \in V^c, d \in D, k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} U_{ijdk}^{Kh} - \sum_{i \in V} \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} U_{jick}^{Kh} = q_j \quad \forall j \in V$$

$$\sum_{i \in U} \sum_{j \in U} \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} X_{ijdk}^{Kh} \leq |U| - 1 \quad U \subseteq V, |U| \geq 2 \quad (16)$$

$$u_{ih} - u_{jh} + (m + 1)x_{ijh} \leq m \quad i, j \in V^{e2}, h \in \{1, 2, \dots, l\} \quad (17)$$

$$G_j + M(1 - X_{ijdk}^{Kh}) - G_i - \left(\frac{d_{ij}}{a}\right) \in K \quad i \neq j, i, j \in V, d \in D, k \in K \quad (18)$$

$$G_i \geq e_i, G_i \leq l_i \quad i \neq j, i, j \in V \quad (19)$$

$$Ye_i \geq Le_i - G_i, Yl_i \geq G_i - Ul_i \quad i \neq j, i, j \in V \quad (20)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (t_{ij} + T_i + f_i) X_{ijdk}^{Kh} \leq mt_k \quad d \in D, k \in K \quad (21)$$

$$Le_i \leq G_i + f_i \leq Ul_i \quad (22)$$

$$\sum_{k \in K} Q_k^{Kh} \sum_{i \in V^c} \sum_{j \in V^e} X_{ijdk}^{Kh} \leq Q_h^{Hu} \quad k \in K, d \in D, h \in H \quad (23)$$

$$\sum_{i \in V^c} \sum_{j \in V^{e2}} D_{ijk} \leq Q_h^{Hu} y_{jk} \quad j \in V^{e2}, h \in H \quad (24)$$

$$\sum_{j \in m} M_{ijd} = 1 \quad i \in \mathcal{E} \quad (25)$$

$$\sum_{i \in V^c} \sum_{k \in K} X_{ijdk}^{Kh} M_{pjd} \leq k \quad , d \in D, p \in \mathcal{E}, \forall j \in V^e \quad (26)$$

$$\sum_{j \in V^f} \sum_{h \in H} X_{ijdk}^{Hu} M_{pjd} \leq h \quad , d \in D, p \in \mathcal{E}, \forall i \in V^e \quad (27)$$

$$\sum_{i \in V^c} \sum_{j \in V^{e2}} \alpha_{ij} x_j \geq 1 \quad (28)$$

$$\sum_{j \in N_j} \alpha_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in V^c \quad (29)$$

$$\alpha_{ij} \leq x_j \quad i \in V^c, j \in V^{e2} \quad (30)$$

$$\sum_{j \in V^{e2}} x_j \leq p \quad (31)$$

$$\sum_{i \in V^d \cup V^e} X_{ijdh}^{Hu} = y_{jk} \quad i \in V^e, h \in H, d \in D \quad (32)$$

$$\sum_{\substack{i \in V^d \cup V^e \\ \in D}} X_{jdh}^{Hu} = y_{jk} \quad i \in V^e, h \in H, d \quad (33)$$

$$\sum_{\substack{j \in V^d \cup V^e \\ \in D}} X_{0jdh}^{Hu} = 1 \quad h \in H, d \quad (34)$$

$$\sum_{\substack{j \in V^d \cup V^e \\ \in D}} X_{j0dh}^{Hu} = 1 \quad h \in H, d \quad (35)$$

$$X_{ijdh}^{Hu}, X_{ijk}^{Kh}, Y_{dk}^{Kh}, Y_{dh}^{Hu}, B_{ija}^{Hu}, X_j \in \{0,1\} \quad i, j \in V, d \in D, k \in K, h \in H \quad (36)$$

$$O_{dh}^{Hu} \geq 0 \quad d \in D, h \in H \quad (37)$$

$$O_{dk}^{kh} \geq 0 \quad d \in D, k \in K \quad (38)$$

$$y_{jh} \in \{0,1\} \quad j \in V^d \cup V^e, h \in H \quad (39)$$

$$u_{ih} \geq 0 \quad i \in i \in V^c, h \in H \quad (40)$$

$$D_{ijh} \geq 0 \quad j \in V^e, i \in V^c, h \in H \quad (41)$$

محدودیت (۴) نشان می‌دهد که به هر گره تولید پسماند فقط یک یال وارد می‌شود در حالی که به گره پارکینگ ماشین آلات $k+h$ یال وارد می‌شود. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که از هر گره تولید پسماند فقط یک یال خارج می‌شود در حالی که از گره پارکینگ ماشین آلات $k+h$ یال خارج می‌شود. محدودیت‌های (۶) و (۷) تضمین می‌کند که مسیرها پیوسته باشد به طوری که محدودیت (۷) شرط اینکه هر ماشین جمع‌آوری پسماند باید به همان گره‌ای که وارد می‌شود از همان گره نیز خارج شود را برآورده می‌سازد. محدودیت (۸) شرط ظرفیت را برای هر وسیله نقلیه جمع‌آوری پسماند برآورده می‌سازد و موجب می‌شود که ظرفیت ماشین از حداکثر مجاز خود تجاوز نکند. محدودیت (۹) و (۱۰) نیز موجب می‌شوند که مبدأ اولیه و مقصد نهایی هر تور مسافرتی (سرویس) دقیقاً گره پارکینگ باشد. محدودیت (۱۱) و (۱۲) استفاده یا عدم استفاده از ماشین جمع‌آوری پسماند را در مسیر تعیین می‌کند. محدودیت (۱۳) مطمئن می‌سازد که یک برنامه زمانی از بین برنامه‌های موجود به هر مشتری اختصاص داده می‌شود. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که هر گره تقاضا فقط روزهایی ملاقات شود که مطابق برنامه زمانی اختصاص یافته به آن باشد. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که تقاضای هر مشتری حتماً برآورده شود. محدودیت (۱۶) و (۱۷) تضمین‌کننده حذف تور فرعی است و سبب می‌شوند که الگوریتم از ایجاد جوابی که همبند نباشد، جلوگیری کند. محدودیت (۱۸) زمان شروع سرویس برای هر گره را مشخص می‌کند و جزء محدودیت‌های نرم پنجره زمانی است. محدودیت (۱۹) شرط پنجره زمانی نرم را در مدل برآورده می‌سازد. محدودیت (۲۰) تعداد واحد زمانی عدم سرویس را در بازه زمانی سخت تعیین می‌کند. محدودیت (۲۱) کنترل‌کننده زمان سرویس است که از حداکثر زمان در دسترس تجاوز نکند. محدودیت (۲۲) تضمین می‌کند که جمع زمان ورود و زمان انتظار هر خودرو جمع‌آوری پسماند در هر گره n ، بزرگتر مساوی با زودترین زمان ورود به هر گره و کمتر و مساوی است با دیرترین زمان خروج از هر گره می‌باشد. محدودیت (۲۳) و (۲۴) شرط ظرفیت برای هر ماشین هاب را برآورده می‌سازد. محدودیت (۲۵) تضمین می‌کند در هر روز از برنامه هر منطقه به یک ایستگاه انتقال پسماند مرتبط گردد. محدودیت (۲۶) تضمین می‌کند تعداد یال‌های وارد شده به ایستگاه انتقال مرتبط با هر منطقه حداقل برابر است با تعداد ماشین‌های جمع‌آوری پسماند آن منطقه در روز جمع‌آوری می‌باشد. محدودیت (۲۷) مطمئن می‌سازد تعداد یال‌های خارج شده از ایستگاه انتقال مرتبط با منطقه حداقل برابر با تعداد ماشین‌های هاب در روز جمع‌آوری

است. محدودیت (۲۸) مستلزم این است که تمام نقاط تقاضا حداقل یک ایستگاه انتقال پسماند در فاصله قابل قبول برای خدمات دهی داشته باشند. محدودیت (۲۹) تضمین می‌کند که هر نقطه تقاضا حداکثر توسط یک مرکز از میان مراکز کاندید، سرویس رسانی شود. محدودیت (۳۰) به این معنی است که در صورتی نقطه تقاضای i می‌تواند توسط مرکز کاندید z خدمت دریافت کند که این مرکز کاندید به عنوان ایستگاه انتقال پسماند انتخاب شود. محدودیت (۳۱) بیان می‌کند تعداد مراکز خدماتی حداکثر برابر با مقدار p می‌باشد. محدودیت (۳۲) و (۳۳) تضمین می‌کنند که برای هر ایستگاه انتقال z و هر وسیله نقلیه h ، یا هر دو یال ورود و خروج به آن ایستگاه وجود دارد یا هیچ یالی وجود ندارد. محدودیت‌های (۳۴) و (۳۵) تضمین می‌کند که برای هر ماشین هاب h دو یال متصل به پارکینگ ماشین آلات وجود دارد (یکی برای رفت و یکی برای برگشت). محدودیت (۳۶) باینری بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد. محدودیت (۳۷) تا (۴۱) سایر متغیرها را تعیین علامت می‌کند.

با توجه به الگوی ساختاری مدل‌های بهینه‌سازی مسایل مسیریابی-مکانیابی وسایل نقلیه و اجزای تدوین شده در ابزارهای پرسشنامه‌ای همگونی مفهومی و محتوایی، مقیاسی و ریاضی اجزای مدل کاملاً محسوس و مشهود بوده و این امکان را به نویسنده می‌دهد که در بررسی پایایی پرسشنامه‌ها زیربخشی محدود ولی جامع را تحت آزمون قرار دهد. بنابراین نویسنده در گام نخست پس از ارایه آموزش‌های لازم به نمونه تحت بررسی، اقدام به توزیع پرسشنامه‌ها و سنجش مقادیر نموده و پس از گردآوری و محاسبه نتایج آزمون اولیه، با گذشت دوره زمانی مقتضی (عدم تغییر شرایط) مجدداً در جهت توزیع پرسشنامه‌ها و سنجش مقادیر ثانویه اقدام نموده است. در پایان نیز ضرایب همبستگی اجزای پرسشنامه و مدل تحت آزمون مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله مشتمل بر ضرایب همبستگی پرسشنامه‌ها و تعیین ضرایب بر پایایی مدل و ابزار سنجش دلالت می‌کند. پرسشنامه‌های یاد شده مستقیماً کمیت‌های مرتبط را منعکس می‌نماید که با اتکا بر مبانی نظری مستدل دارای روایی لازم است.

۵. معادل سازی مسأله مسیریابی خودرو و الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی^۱ (ABC)

ABC در زیرمجموعه الگوریتم‌های مبتنی بر غذایابی زنبورهای عسل قرار گرفته است که در سال ۲۰۰۵ توسط کاراباگا^۲ پیشنهاد و در سال ۲۰۱۰ نسخه ویرایش یافته آن توسط کاراباگا و آکای^۳ ارایه گردید [۲۳]. این الگوریتم الهام گرفته از رفتار کاوشگرانه کلونی زنبورها بوده و برای حل مسایل بهینه‌سازی پیوسته و پیدا نمودن مقادیر بهینه یک تابع یا ترکیبی از توابع عددی چند متغیره به کار می‌رود. این روش با بهره‌گیری از پارامترهای کنترلی کمتر نسبت به الگوریتم‌های دیگر، از عملکرد بهتری برخوردار است [۲۴].

VRP که در گرافی شامل نقاط و کمان‌ها بیان می‌شود عبارت است از به دست آوردن کوتاه‌ترین مسیر بر روی نقاطی که از هر نقطه یک بار و فقط یک بار عبور کرده و در نهایت به نقطه آغازین بازگشته و یک دور کامل ایجاد گردد. به منظور معادل سازی ABC و VRP، زنبورها در فضای مسأله مسیریابی خودرو تعریف می‌شوند که در آن نقاط در VRP همان گل‌های مورد جستجو برای برداشت شهد توسط زنبورها هستند. طول مسیر حرکت خودرو با کیفیت شهدی که زنبورها برداشت می‌کنند به صورت معکوس متناسب است، یعنی هرچه شهد بیشتری در ABC جمع‌آوری شود، متناسب با آن، طول کمتری در VRP به دست خواهد آمد. همواره در ABC هدف جمع‌آوری بیشترین شهد است [۱۳]. در جدول زیر به صورت خلاصه معادل سازی کلی VRP و مفهوم ABC بیان شده است.

1 Artificial Bee Colony

2 Karaboga

3 Akay

جدول ۱- معادل سازی کلی VRP و مفهوم ABC

مسأله مسیریابی خودرو	کلونی زنبور عسل
خودرو	زنبورهای پیشاهنگ
نقاط	گل
طول مسیر	معکوس کیفیت شهد

۶. یافته‌های پژوهش

در این قسمت اهم یافته‌های حاصل از بررسی سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان به شرح زیر آمده است: (۱) زمان جمع‌آوری دارای فرکانس خاصی از ساعت ۲۲ تا ۴ است که حداکثر زمان حضور در سکو ساعت ۶ صبح می‌باشد. (۲) تعداد سه ایستگاه انتقال ثابت در شهر وجود دارد. (۳) سهم عمده تأمین ماشین‌آلات جمع‌آوری پسماند شهری بر عهده سازمان خدمات موتوری شهرداری اصفهان می‌باشد. (۴) جهت جمع‌آوری پسماند شهری از ۴ نوع ماشین‌آلات (نیسان، ایسوزو پرس، هیوندا پرس، مینی پک) استفاده می‌شود. (۵) ایسوزوپرس با ۴۳.۸۱ درصد پر کاربردترین وسیله نقلیه جهت جمع‌آوری پسماند در شهر اصفهان بوده و پس از آن به ترتیب نیسان (۳۳.۸۱ درصد)، هیوندا پرس (۱۳.۸۱ درصد) و مینی پک (۸.۵۷ درصد) به کارگیری می‌گردد. (۶) علت اصلی انتظار در سکو به تفکیک منطقه صف سکو می‌باشد. (۷) با مقایسه درصد مسافت طی شده در گره‌های تقاضا و درصد مسافت طی شده در مسیر رفت به سکو و برگشت از آن در فرآیند اصلی جمع‌آوری زباله می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین مسافت در فرآیند جمع‌آوری پسماند شهری در مسیر رفت به سکو و برگشت از آن می‌باشد. (۸) با مقایسه درصد زمان صرف شده در گره‌های تقاضا، فرآیند سکو و مسیر رفت به سکو و برگشت از آن در فرآیند اصلی جمع‌آوری زباله می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین زمان در فرآیند جمع‌آوری پسماند شهری در مسیر گردش بین گره‌های تقاضا می‌باشد. (۹) با در نظر گرفتن علت اصلی انتظار در سکو و درصد مسافت و زمان صرف شده در گره‌های تقاضا، فرآیند سکو و مسیر رفت به سکو و برگشت از آن در فرآیند اصلی جمع‌آوری زباله و با لحاظ کردن بررسی‌های آمده در بخش فرضیه پژوهش، استفاده از ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند در کنار ایستگاه‌های ثابت توجه پذیر می‌باشد. (۱۰) میانگین پسماند هر گره تولید پسماند ۵۰۱.۵۶ کیلوگرم می‌باشد.

۷. نتایج محاسباتی

با در نظر گرفتن ظرفیت ماشین‌آلات و میزان تقاضا در گره‌های تولید و سایر داده‌های جمع‌آوری شده تعداد بهینه ماشین‌آلات جمع‌آوری به ازای هر منطقه و تعداد بهینه ماشین‌آلات حمل برای هر سکو محاسبه گردید و در نهایت تعداد بهینه ماشین‌آلات جمع‌آوری و حمل پسماند مطابق با آنچه در جدول ۲ آمده است پیشنهاد گردید.

در نهایت این نتیجه حاصل شد که جهت جمع‌آوری پسماند شهری کل شهر به ۷۸ نیسان، ۴۳۳ هیوندا و ایسوزو پرس و ۲۳ مینی پک و جهت حمل پسماند به تعداد ۶۳ ماشین‌آلات نیاز است (۱۲) تعداد ایستگاه‌های انتقال پسماند در شهر ۵ ایستگاه برآورد گردد که با توجه به تعداد ۳ ایستگاه ثابت موجود در شهر تعداد ۲ ایستگاه موقت انتقال پسماند پیشنهاد گردید.

جدول ۲- تعداد ماشین‌آلات پیشنهادی جمع‌آوری و حمل پسماند

تعداد بهینه ماشین‌آلات جمع‌آوری نیسان در کل شهر	۷۸
تعداد بهینه ماشین‌آلات جمع‌آوری ایسوزو/هیوندا پرس در کل شهر	۴۳۳
تعداد بهینه ماشین‌آلات جمع‌آوری مینی پک در کل شهر	۲۳
تعداد بهینه ماشین‌آلات حمل در تمامی ایستگاه‌های انتقال پسماند شهر	۶۳

با بررسی داده‌های زمانی فرآیند سکو و مناطق مرتبط با هر ایستگاه ثابت انتقال پسماند شهر، تعداد کل ایستگاه‌های انتقال پسماند شهری (ثابت و موقت) برآورد گردید. پس از آن تعداد ماشین هاب مستقر در هر ایستگاه انتقال پسماند پیشنهاد شد. با در نظر گرفتن مدل متمرکز تور پوششی و مسیریابی مسأله تحقیق حل و به این ترتیب مناطق پیشنهادی برای استقرار ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند مشخص گردید که تمامی نتایج در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳- تعداد و موقعیت ایستگاه انتقال پسماند پیشنهادی

۵	تعداد ایستگاه‌های انتقال پسماند شهر
۲	تعداد ایستگاه انتقال موقت پسماند
۷-۳	مناطق پیشنهادی برای استقرار ایستگاه موقت پسماند
۱۳	تعداد ماشین هاب مستقر در هر ایستگاه انتقال پسماند
۳	تعداد مناطق مرتبط به هر ایستگاه انتقال پسماند

با کد نویسی مدل مسأله در نرم افزار MATLAB در قالب دو برنامه (۱) تعیین مکان بهینه ایستگاه انتقال پسماند در سطح شهر (۲) تعیین مسیر بهینه حمل پسماند شهری در هر منطقه و پیاده سازی آن با الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی نتایج زیر حاصل گردید:

اجرای برنامه "تعیین مسیر بهینه حمل پسماند شهری در هر منطقه" قادر می‌باشد برنامه روزانه جمع‌آوری پسماند را مشخص نماید ضمن آنکه مسیر حرکت وسایل نقلیه جمع‌آوری و حمل پسماند را نشان دهد. باید در نظر داشت که کاهش زمان/مسافت سیستم جمع‌آوری پسماند شهری و در نظر گرفتن این موضوع که هر ماشین در طول مسیر با توجه به ظرفیت خود بیشترین مقدار را جمع‌آوری کرده و سپس به ایستگاه میانی برای تخلیه برود در طراحی مدل تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. برنامه "تعیین مسیر بهینه حمل پسماند شهری در هر منطقه" پس از اجرا در تکرارهای مختلف در نهایت مقدار تابع هدف و هر یک از توابع هدف هفت گانه مدل تحقیق را مشخص می‌نماید. علاوه بر آن متغیر ساختاری Solution را که مسیر حرکت وسایل نقلیه را در روزهای مختلف تعیین می‌کند، نشان می‌دهد. برای مثال نوشتن کدهای زیر نتایج شرح داده شده را به دنبال خواهد داشت:

۱. Solution (15): برنامه جمع‌آوری در روز ۱۵ام نشان داده می‌شود.
۲. Solution (15).rout 1: مسیر حرکت وسایل نقلیه جمع‌آوری را نشان می‌دهد.
۳. Solution (15).rout 1 {1}: مسیر حرکت وسیله جمع‌آوری ۱ را در روز ۱۵ام نشان می‌دهد. در 1 rout اعداد ۱ تا n مشتری‌ها و اعداد 1 + n به بعد ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در مسیر نشان داده شده، پارکینگ نمایش داده نمی‌شود، اما مسیر حرکت دقیقاً از پارکینگ شروع و به آن ختم می‌گردد.
۴. Solution (15).rout 2 {1}: مسیر حرکت ماشین هاب ۱ را در روز ۱۵ام نشان می‌دهد. در این جواب اعداد ۱ تا m نشانگر ایستگاه‌های بازدید شده است و عدد 1 + m + n نشانگر کارخانه بازیافت می‌باشد. در این نمایش جواب نیز، پارکینگ نمایش داده نمی‌شود، اما در ساختار اصلی کدنویسی لحاظ شده است. لازم به ذکر است در این رشته ممکن است یک ایستگاه چند بار بازدید شود که دلیل این امر کم بودن ظرفیت وسیله نقلیه نسبت به پسماند جمع‌شده در ایستگاه می‌باشد.

❖ اجرای برنامه "تعیین مکان بهینه ایستگاه انتقال پسماند در سطح شهر" قادر می‌باشد با نشان دادن بهترین مقدار تابع هدف، در نهایت مناطقی را که به عنوان ایستگاه انتقال پسماند منتخب می‌شوند ارائه نماید. نتایج پیاده سازی مدل در شهر

اصفهان منطقه‌های ۳ و ۷ را به عنوان مکان‌های پیشنهادی استقرار ایستگاه انتقال موقت پسماند تعیین می‌کند. آنچه مسلم است بررسی این پیشنهاد از دیدگاه اجتماعی، زیست محیطی الزامی است.

۸. بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی و تحلیل داده‌های حاصل از سیستم جمع‌آوری پسماند شهری شهر اصفهان، ایده به کارگیری ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند در کنار نوع ثابت آن، جهت اتصال مکانیزم‌های موجود در شبکه جمع‌آوری و حمل پسماند برای ارتباط با یکدیگر و گرفتن سرویس توجیه‌پذیر می‌باشد تا بدینوسیله زباله‌های جمع‌آوری شده از گره‌های پسماند به وسیله خودروهای کوچک‌تر به خودروهای سنگین و بزرگ‌تر مستقر در ایستگاه‌های انتقال مواد زاید شهری منتقل گردد و پس از آن از ایستگاه‌های انتقال به مراکز دفن یا واحد تبدیل مواد زاید حمل شود. با توجه به توجیه‌پذیر بودن به کارگیری ایستگاه‌های موقت انتقال پسماند همراه با نوع ثابت آن، مدل مسأله با رویکرد متمرکز تور پوششی و مسیریابی طراحی و حل آن از طریق پیاده‌سازی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در نرم افزار MATLAB صورت گرفته شد. لازم به ذکر است نوع مسأله مسیریابی، یک مسأله مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه ظرفیت‌دار با پنجره‌های زمانی سخت و نرم با ناوگان ناهمگن و ثابت تشخیص داده شد که تاکنون مسأله مسیریابی با چنین جامعیتی نه تنها مطرح نشده است بلکه تاکنون توسط الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی نیز حل نشده است. نتایج تحقیق ضمن در نظر گرفتن اهداف تحقیق توانست مواردی همچون تعداد بهینه ماشین‌های جمع‌آوری و حمل پسماند، تعداد بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند (ثابت و موقت)، محل استقرار ایستگاه‌های انتقال پسماند و برنامه دهی روزانه مسیرهای ماشین‌های جمع‌آوری پسماند را مشخص نماید. آنچه مسلم است بررسی نتایج تحقیق از ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی دستیابی به توسعه پایدار را در کشور عزیزمان هموارتر خواهد ساخت.

۹. مراجع

- عسائی، محمدتقی، ارجمندی، فرامرزی، بختیاری، علی، و کیاکجوری، آتنا. (۱۳۸۹). بهبود برنامه‌ریزی جمع‌آوری پسماندهای شهری در ابعاد واقعی (مطالعه موردی: شهر تهران). مجله مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۲(۱-۲۶)، ۱۰۶-۹۹.
- مجلسی، منیره. (۱۳۸۶). نقش مشارکت‌های مردمی در سیستم مکانیزه جمع‌آوری زباله. سومین همایش ملی مدیریت پسماند، تهران، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.
- عشورنژاد، غدیر، طاهری، مرضیه، و عباسپور، رحیم علی. (۱۳۹۲). به کارگیری فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان. مجله محیط‌شناسی، سال سی و نهم، ۳، ۱۷۷-۱۶۵.
- رفیعی، رضا، سلمان ماهینی، عبدالرسول، و خراسانی، نعمت اله. (۱۳۸۸). ارزیابی محیط زیستی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، ویژه نامه ۲، ۲۲۰-۲۰۸.
- Komilis, D. P. (2008). Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. *Journal of Waste Management*, 28(11), 2355-2365.
- Paydyn, O., & Gonullu, MT. (2007). Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. *Global NEST Journal*; 9(1):6-11.
- Paily, P.P. (2006). Optimal siting of solid waste transfer stations for minimizing haul costs. *Journal of Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, 876-885.
- Bovea, M.D., & Powell, J.C. (2005). Alternative scenario to meet the demands of sustainable waste Management. *Journal of Environmental Management*, (79)2, 115-132.
- Koushki, P.A., Al-Duaij, U., & Al-Ghimlas, W. (2004). Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait, *Waste Management Journal*; (24)9, 957-964.

10. Chalkias, C., & Lasaridi, A. (2009). GIS based model for the optimization of municipal solid waste collection: the case study of Nikea, Athens, Greece. *Waste Transactions on Environment and Development Journal*, 10(5), 94-111.

۱۱. عشورنژاد، غدیر، طاهری، مرضیه، و عباسپور، رحیم علی. (۱۳۹۲). به کارگیری فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی در شناسایی مکان بهینه ایستگاه‌های انتقال پسماند شهرستان اصفهان. *مجله محیط شناسی*، سال سی و نهم، ۳، ۱۷۷-۱۶۵.

۱۲. شکرریزفرد، مریم، طالب بیدختی، ناصر، و شکرریزفرد، پویا. (۱۳۸۸). روشی برای محاسبه هم‌زمان بهترین مسیر حمل پسماند شهری و مکان‌یابی بهینه‌ی ایستگاه‌های انتقال پسماند به روش Nonlinear Integer Programming. *دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست*، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۳. رحیمی، امیر مسعود، و رضانی خوانساری، احسان. (۱۳۹۳). توسعه الگوریتم غذایابی زنبور عسل برای حل مسأله مسیریابی خودرو. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، ۱(۶)، ۴۷-۵۸.

14. Bhagade, A. S., & Puranik, P.V., (2012). Artificial bee colony (ABC) algorithm for vehicle routing optimization problem. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, (2)2, 329-333.

۱۵. سیف، امین. (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی الگوریتم زنبور عسل در حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه. تهران: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران.

۱۶. رضانی خوانساری، احسان. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی مسأله‌ی مسیریابی خودرو با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی. تهران: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران.

۱۷. هادوی، زینب. (۱۳۸۸). مسیریابی چندمقصدی با محدودیت‌های چندگانه با استفاده از الگوریتم کندوی زنبور عسل. تهران: دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی فناوری اطلاعات.

۱۸. سعیدینیا، احمد. (۱۳۷۸). کتاب سبز شهرداری (جلد هفتم). تهران: نشر آیندگان.

19. Sarkar, U., Hobbs, S.E., Longhurst, Ph. (2003). Dispersion of odour: a case study with a municipal solid waste landfill site in North London, United Kingdom. *Journal of Environmental Management*, (68)2, 153-160.

۲۰. عمرانی، قاسمعلی. (۱۳۸۶). اصول و مبانی استراتژی پایدار در مدیریت پسماندهای ایران. *مجله مدیریت پسماندها*، شماره ۸، ۷۲-۶۳.

۲۱. معاونت برنامه ریزی، پژوهش و فناوری اطلاعات شهرداری اصفهان. (۱۳۹۱). آمارنامه شهر اصفهان - سال ۱۳۹۰. اصفهان: روابط عمومی شهرداری اصفهان.

۲۲. معاونت برنامه ریزی، پژوهش و فناوری اطلاعات شهرداری اصفهان. (۱۳۹۳). آمارنامه شهر اصفهان - سال ۱۳۹۲. اصفهان: روابط عمومی شهرداری اصفهان.

23. Karaboga, D., & Akay, B. (2012). A modified Artificial Bee Colony algorithm for real parameter optimization. *Journal of Information Sciences*, (192), 120-142.

۲۴. پارسا، حمیدرضا، غلامیان، اصغر، عباسی، مجید، شیخ‌الاسلامی، عبدالرضا، و ولی‌اللهی، سپیده. (۱۳۹۱). طراحی بهینه پروب آزمون جریان گردابی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی و تحلیل اجزای محدود. *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، ۹(۲)، ۳۹-۵۶.

پیوست ۱

(الف) پرسشنامه

همکار گرامی

فرم پیش رو در جهت جمع آوری اطلاعات مسیرهای حمل پسماند عادی تهیه و تنظیم شده است. بنابراین خواهشمند است ضمن مطالعه دستورالعمل نحوه تکمیل پرسشنامه، نسبت به درج اطلاعات با نهایت دقت اقدام فرمایید. قبلاً از همکاری جنابعالی سپاسگزاریم.

در این قسمت اطلاعات مربوط به تکمیل کننده فرم و شیفت کاری وارد می گردد.

نام و نام خانوادگی تکمیل کننده فرم:		نام و نام خانوادگی راننده:	
نام منطقه:	تاریخ تکمیل فرم:	نوع شیفت:	
		<input type="checkbox"/> شیفت شب-زوج <input type="checkbox"/> شیفت شب-فرد	

در این قسمت اطلاعات مربوط به خودرو و مالک خودرو وارد گردد.

کد خودرو:	پلاک خودرو:	نوع ماشین: <input type="checkbox"/> نیسان <input type="checkbox"/> مینی پک <input type="checkbox"/> ایسوزو پرس <input type="checkbox"/> هیوندا پرس <input type="checkbox"/>	
مالک خودرو: سازمان وابسته به شهرداری <input type="checkbox"/> شرکت خدماتی <input type="checkbox"/> نام شرکت خدماتی:		آدرس شرکت خدماتی-دفتر خدمات منطقه:	

در این قسمت اطلاعات مربوط در هنگام آغاز شیفت کاری وارد گردد.

زمان خروج از پارکینگ سازمان وابسته به شهرداری:	زمان ورود به پارکینگ شرکت خدماتی:
زمان خروج از پارکینگ شرکت خدماتی:	زمان ورود به پارکینگ شرکت خدماتی:

در این قسمت اطلاعات مربوط در هنگام اتمام شیفت کاری وارد گردد.

زمان ورود به پارکینگ شرکت خدماتی:	زمان ورود به پارکینگ سازمان وابسته به شهرداری:
-----------------------------------	--

در صورتی که در شیفت جمع آوری پسماند، مناسبت خاصی در آن منطقه بوده است، لطفاً ذکر فرمایید.

جدول الف و ب در ابتدای خدمات رسانی تکمیل می گردد.

جدول الف: در صورتی که مالک خودرو سازمان وابسته به شهرداری می باشد در این قسمت، مسیر حرکت از سازمان به شرکت خدماتی را درج نمایید.

--

جدول ب: در این قسمت مسیر رفت از شرکت تا منطقه را درج نمایید.

--

جدول ج و د در انتهای خدمات رسانی تکمیل می گردد.

جدول ج: در این قسمت مسیر رفت از آخرین سکو مربوط به آخرین سرویس کاری به سمت شرکت را درج نمایید.

--

جدول د: در صورتی که مالک خودرو سازمان وابسته به شهرداری می باشد مسیر حرکت از شرکت به سازمان را در این قسمت درج نمایید.

--

شماره کد فرم
شماره سرویس:

شماره گره	مسیر حرکت	زمان شروع	کیلومتر شمار شروع	زمان پایان	کیلومتر شمار پایان	میزان تقریبی زیاله (کیلوگرم)

محل سکو	مسیر رفت به سکو:

اطلاعات مربوط به ورود به سکو	زمان در هنگام ورود به محل سکو:	کیلومتر شمار در هنگام ورود به محل سکو:
اطلاعات مربوط به انتظار از سکو	علت تاخیر: صف سکو <input type="checkbox"/> حاضر نبودن تریلر <input type="checkbox"/> سایر موارد:	تعداد ماشین در صف:
	مدت زمان انتظار در صف سکو:	مدت زمان انتظار به علت حاضر نبودن تریلر:
اطلاعات مربوط تناژ زیاله	تناژ ثبت شده در باسکول:	
اطلاعات مربوط به خروج از سکو	زمان در هنگام خروج از محل سکو:	کیلومتر شمار در هنگام خروج از محل سکو:
وضعیت	ادامه ارائه خدمت <input type="checkbox"/> اتمام کار و عزیمت به محل پارکینگ <input type="checkbox"/>	

مسیر برگشت از سکو:

(ب) متغیرهای شناسایی شده سیستم جمع آوری پسماند شهری

جدول (۴) - متغیرهای سیستم جمع آوری در مدل پیشنهادی

نماد پارامتر	عنوان پارامتر
ti	زمان صرف شده درون هر گره تولید جمع آوری پسماند
T	کل زمان صرف شده بین گره های تولید جمع آوری پسماند
thi	زمان صرف شده از هر گره تولید به هر هاب و برگشت
TH	کل زمان صرف شده از گره های تولید به هاب ها و برگشت
thfi	زمان صرف شده از هر هاب به کارخانه کمپوست
THF	کل زمان صرف شده از هاب به کارخانه کمپوست
tsi	زمان صرف شده از هر گره تولید به هر سکو و برگشت
TS	کل زمان صرف شده از گره های تولید به سکوها و برگشت
tsfi	زمان صرف شده از هر سکو به کارخانه کمپوست
TSF	کل زمان صرف شده از سکوها به کارخانه کمپوست
di	مسافت طی شده درون هر گره تولید جمع آوری پسماند
D	کل مسافت طی شده بین گره های تولید جمع آوری پسماند
dhi	مسافت طی شده از هر گره تولید به هر هاب و برگشت
DH	کل مسافت طی شده از گره های تولید به هاب ها و برگشت
dhfi	مسافت طی شده از هر هاب به کارخانه کمپوست
DHF	کل مسافت طی شده از هاب به کارخانه کمپوست
dsi	مسافت طی شده از هر گره تولید به هر سکو و برگشت
DS	کل مسافت طی شده از گره های تولید به سکوها و برگشت
dsfi	مسافت طی شده از هر سکو به کارخانه کمپوست
DSF	کل مسافت طی شده از سکوها به کارخانه کمپوست
im1	متوسط هزینه هر ساعت پرسنل ماشین های حمل پسماند در یک ماه
im2	متوسط هزینه هر ساعت پرسنل ماشین های هاب در یک ماه
Im3	متوسط هزینه هر ساعت پرسنل سکو در یک ماه
Im4	متوسط هزینه هر ساعت پرسنل سمی تریلر در یک ماه
it1	متوسط هزینه تعمیرات ماشین آلات حمل پسماند در یک ماه
it2	متوسط هزینه تعمیرات ماشین آلات هاب در یک ماه
It4	متوسط هزینه تعمیرات ماشین آلات سمی تریلر در یک ماه
ib1	متوسط هزینه بالاسری ماشین آلات حمل پسماند در یک ماه
ib2	متوسط هزینه بالاسری ماشین آلات هاب در یک ماه
Ib4	متوسط هزینه بالاسری ماشین آلات سمی تریلر در یک ماه
N1	تعداد کل گره های تولید پسماند
N2	تعداد کل سرویس پسماند
ki	میزان حجم زیاده در هر گره
ci	ظرفیت هر ماشین جمع آوری پسماند
chi	ظرفیت هر ماشین هاب
cfi	ظرفیت هر سمی تریلر سکو
J	هزینه سرمایه گذاری جهت اضافه کردن یک ماشین حمل پسماند
JH	هزینه سرمایه گذاری جهت اضافه کردن یک ماشین هاب

G	نرخ جذاب سرمایه گذاری برای شهرداری اصفهان
O	متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین های حمل پسماند جهت حمل پسماند از گره های تولید
OH	متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین های جمع آوری پسماند جهت انتقال زیاله به هر هاب
OS	متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین های جمع آوری پسماند به سکوی تخلیه و بازگشت
OHF	متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت ماشین های هاب به کارخانه کمپوست
OSF	متوسط لیتر مصرفی به ازای هر کیلومتر حرکت سمی تریلر به کارخانه کمپوست
P	بهای سوخت
M1	ماتریس مسافت گره های تولید پسماند
M2	ماتریس زمان گره های تولید پسماند
M3	ماتریس مسافت از گره های تولید به هاب ها
M4	ماتریس زمان از گره های تولید به هاب ها
M5	ماتریس مسافت از گره های تولید به سکوها
M6	ماتریس زمان از گره های تولید به سکوها
M7	ماتریس مسافت از هاب ها به کارخانه کمپوست
M8	ماتریس زمان از هاب ها به کارخانه کمپوست
M9	ماتریس مسافت از سکوها به کارخانه کمپوست
M10	ماتریس زمان از سکوها به کارخانه کمپوست