مکانیابی تسهیلات انتقال پسماند با در نظر گرفتن صف ماشین های جمع آوری و ملاحظات زیست محیطی- اجتماعی. مطالعه موردی: شهر تهران

آرمین جبارزاده

عضو هیئت علمی گروه مهندسی سیستم، تجارت الکترونیک و زنجیره تأمین؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

arminj@iust.ac.ir

هانیه ظهورفاضلی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی لجستیک و زنجیره تامین؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

فرزانه دربانیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی لجستیک و زنجیره تامین؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

کامران سرمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی لجستیک و زنجیره تامین؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

کمینه‌سازی هزینه خدمات و اثرات سوء بر محیط زیست و اجتماع از مسائل مهم در مدیریت پسماند است. در این راستا، مکانیابی ایستگاه‌های انتقال و مراکز دفن پسماند اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعهٔ حاضر به منزلهٔ پژوهش کاربردی با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی در تصمیم‌گیری چندمعیاره با در نظر گرفتن معیارهای زیست محیطی و اجتماعی در چهار سطح منفعت، فرصت، هزینه و ریسک برای مکان‌های پیشنهادی و بهره‌گیری از نتایج آن در مدل‌سازی چندهدفه به ارائهٔ چارچوب نوینی در شناسایی مکان بهینهٔ دفن و ایستگاه‌های انتقال پسماند پرداخته است. مدل پیشنهادی، دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل و بیشینه سازی امتیاز زیست محیطی - اجتماعی مکان‌های منتخب را با در نظر گرفتن محدودیت طول صف انتظار ماشین های جمع آوری پسماند در ایستگاه انتقال دنبال می‌کند و با روش وزن‌دهی حل شده است. این فرایند در شهر تهران برای شناسایی مکان بهینهٔ مرکز دفن و ایستگاه انتقال پسماند جدید، اجرا گردیده است و با توجه به موقعیت مکان‌های پیشنهادی، منطقه قلعه نو جهت احداث مرکز دفن و منطقه مهرآباد جهت احداث ایستگاه انتقال انتخاب شده اند که کارایی جمع‌آوری پسماند را بیشتر و هزینهٔ حمل و نقل و اثرات زیست محیطی - اجتماعی را کمتر نموده است.

کلید واژه:

پسماند، ایستگاه انتقال، ملاحظات زیست محیطی- اجتماعی، تصمیم گیری چندمعیاره، مدل چندهدفه، تئوری صف

مقدمه

مدیریت پسماندهای شهری امروزه تبدیل به یکی از چالش های مهم شهرهای بزرگ دنیا شده است و عدم مدیریت صحیح دراین زمینه، می‌تواند موجب آلودگی منابع آبی سطحی و زیرزمینی، خاک و هوا در سطح گسترده‌ای گردد. حجم بالای پسماندهای تولیدی در کلان شهرها و هزینه های بالای حمل و نقل از یک سو و افزایش توجه به اثرات زیست محیطی- اجتماعی از سوی دیگر، استفاده از ایستگاه های انتقال را تبدیل به گزینه ای جذاب برای مدیریت پسماندهای جامد شهری کرده است. در فرآیند جمع‌آوری پسماند، در ابتدا پسماند جمع‌آوری شده از مناطق مولد به ایستگاه های انتقال فرستاده می شود و سپس از این نقاط به مراکز دفن ارسال می گردند. همچنین، امکان ارسال پسماند به طور مستقیم از مناطق به مراکز دفن نیز وجود دارد. ایستگاه های انتقال همانند تسهیلات هاب[1] عمل می کنند و محل تخلیه و بارگیری پسماند از خودروهای جمع‌آوری به خودروهای سنگین‌تر به منظور حمل آن به مراکز دفن می‌باشند [۱]،[۲]. ایستگاه-های انتقال پسماند، باعث افزایش راندمان فرآیند جمع‌آوری و کاهش همه جانبه هزینه‌های حمل و نقل، مصرف انرژی، ترافیک کامیون‌ها و آلودگی هوا می‌گردند. مکانیابی تسهیلات انتقال و دفن پسماند با معیارهای مناسب به دلیل اثرگذاری بر چرخه طبیعی و زندگی انسانها، از ضروریات طرح‌های توسعه شهری به شمار می رود[۳].

معمولا برای مکانیابی ایستگاه‌های انتقال سعی در کمینه سازی فاصله آنها از نقاط شهری است. این درحالیست که موارد بسیاری از جمله وضعیت گسل‌ها، منابع آب زیرزمینی و سطحی، محدودیت های نظامی، شهرسازی و قانونی و فاصله تا مراکز دفن پسماند باید در نظر گرفته شوند تا نقاط انتخاب شده کمترین مخاطرات زیست محیطی و اجتماعی را در آینده داشته باشند[۴].

دریافت، تخلیه و سایر عملیات مورد نیاز در ایستگاه های انتقال به صورت دستی یا خودکار انجام می شود که در هر یک از این حالات، نظر به

تعداد زیاد ماشین‌های جمع‌آوری ورودی در مقابل ظرفیت گذردهی ایستگاه های انتقال، احتمال ایجاد صف در محل جایگاه مربوطه وجود دارد و این امر موجب بروز اثرات نامطلوب بسیاری از قبیل کاهش سطح خدمت تسهیلات، افزایش تاخیرها، افزایش مصرف سوخت،آلودگی صوتی، انتشار آلاینده های محیطی، تصاعد بوی نامطبوع و نشت شیرابه پسماند و نفوذ آن به منابع آب سطحی و زیرزمینی می شود که در اکثر مواقع مقاومت های اجتماعی را نیز در پی دارند. لذا، طراحی یا بهسازی این تسهیلات، مستلزم آگاهی از ویژگی های صف و تجزیه و تحلیل نظری آن ها است.

تجزیه و تحلیل صف یک مفهوم ریاضی است که در زمینه‌های مختلف کاربرد دارد و تلاش می‌کند تا حرکات مشتریان در انتظار خدمت دهی را مدلسازی کند[۵]. توجه به این بحث در مدل‌سازی مسائل مکانیابی کمتر دیده شده است که منجر به تاثیرات نامطلوب زیادی از جمله اتلاف انرژی، افزایش آلودگی هوا و بهره‌وری پایین نیروی کار می‌شود [۵]. از طرفی احداث هر هاب، اثرات ترافیکی در نزدیکی این تسهیلات پدید می آورد که به عنوان اثرات هابی[۲] شناخته می شوند. بدون در نظر گرفتن اثرات ترافیکی تولید شده توسط هاب ها، توجیه اقتصادی از نظر مزیت اقتصاد به مقیاس وجود نخواهد داشت[۶]. همچنین ، انتظار وسائل نقلیه در تسهیلات مدیریت پسماندهای شهری در کنار مسائل اقتصادی، اثرات زیست محیطی و اجتماعی قابل توجهی ایجاد می‌کند[۶].

کلانشهرهای ایران همانند شهرهای سایر کشورهای در حال توسعه، به دلیل رشد جمعیت در معرض اثرات زیست محیطی و اجتماعی ناشی از افزایش پسماندهای تولیدی می‌باشند. پاسخ موثر به این اثرات، از اهمیت حیاتی برای زندگی و سلامت انسانها برخوردار است و سزاوار تلاشهای فراوان است لذا تصمیم گیرندگان حوزه مکانیابی تسهیلات مرتبط با پسماند، باید ابزارها و مدلهای تصمیم گیری قوی و عمومی داشته باشند تا اثرات زیست محیطی و اجتماعی را تا حد ممکن کاهش دهند. هزینه های بالای سرمایه گذاری در کنار اثرات کوتاه مدت و بلند مدت زیست محیطی و اجتماعی از ضرورت های انجام این پژوهش به شمار می رود. نویسندگان این مقاله، تلاش کرده اند تا با استفاده از مدل پیشنهادی و نتایج حاصله، راهبرد بهینه تصمیم گیرندگان برای مکانیابی تسهیلات انتقال پسماند را شناسایی کنند و وضعیت ذی نفعان در این حوزه را بهبود دهند.

همانطور که گفته شد، در مقاله حاضر به منظور مکان‌یابی مراکز دفن و تسهیلات انتقال پسماند، علاوه بر عامل هزینه، ملاحظات زیست محیطی و اجتماعی نیز در مدلسازی ریاضی لحاظ شده اند. بدین منظور، با استفاده از روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره به هر ایستگاه انتقال، وزنی براساس میزان رعایت ملاحظات زیست محیطی و اجتماعی در سطوح چهارگانه منفعت، فرصت، هزینه و ریسک اختصاص یافته است. در این مسئله بهینه سازی چندهدفه، هدف اول کمینه‌سازی هزینه‌های حمل پسماندها به تسهیلات انتقال و مراکز دفن می باشد و هدف دوم به بیشینه-سازی مجموع وزن‌های بدست آمده بر اساس معیارهای زیست محیطی - اجتماعی برای تسهیلات انتقال انتخاب شده از بین نقاط بالقوه پرداخته است. در مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال، عدم قطعیت برخی پارامترهای مسئله مانند میزان تولید پسماند مناطق شهری در یافتن جواب بهینه اهمیت به سزایی دارد و مسئله را به بهینه سازی احتمالی تبدیل می کند. در این مقاله دو سناریو مطرح شده‌است. در سناریو اول میزان پسماند تولیدی که باید از نقاط شهری جمع‌آوری و منتقل شود، متوسط است و دارای میانگین یکسان در بیشتر روزهای سال می‌باشد، در حالی که در سناریو دوم شرایط ویژه‌ای در نظرگرفته می‌شود و در آن میزان پسماند تولیدی به دلایلی همچون قرار گرفتن در روزهای خاصی از سال مانند اعیاد بیشتر است. در مسائل بهینه‌سازی احتمالی، احتمال رخداد هر سناریو قابل اندازه‌گیری است. در نظر گرفتن عدم قطعیت، مسئله را به شرایط واقعی نزدیکتر می‌کند و می‌توان مشاهده نمود که هزینه مسئله با استفاده از مدل پیشنهادی به ازای رخداد سناریوها کمتر از پیکره‌بندی اولیه است [۷].

همچنین از آنجا که این ایستگاه‌ها در سطح شهر مکانیابی می‌شوند و نزدیکی به مناطق مسکونی اهمیت توجه به اثرات زیست محیطی- اجتماعی مربوطه را بیشتر می‌کند، در مدل‌سازی مقاله حاضر، محدودیتی برای طول صف ماشین‌های جمع‌آوری پسماند جهت کاهش اثرات نامطلوب ناشی از آن لحاظ شده است.

جهت بررسی کاربرد واقعی این پژوهش، وضعیت پسماند شهر تهران در نظر گرفته شده است که در آن براساس اظهارات سازمان مدیریت پسماند شهر تهران سرانهٔ تولید پسماندهای خانگی و شهری به بیش از ۷۰۰۰ تن می‌رسد. پسماندهای جمع‌آوری شده از مناطق ۲۲ گانه شهری به تسهیلات انتقال ارسال می شوند و پس از ثبت اطلاعات مربوط به نوع بار، پیمانکار، تاریخ و زمان در خودروهای سنگین‌تر بارگیری می شوند و به مراکز دفن حمل می‌گردند. شایان توجه است که مکان‌یابی غیراصولی مکان فعلی برخی از این ایستگاه‌های انتقال موجب آلودگی آب و خاک، تخریب چشم‌اندازها و بروز مقاومت‌های اجتماعی شده است. بدون شک جوامع مختلف با گذشت زمان و افزایش جمعیت به منظور پاسخگویی به نیازهای خود در مدیریت پسماند به سمت احداث مراکز دفن و تسهیلات انتقال جدید سوق پیدا می‌کنند. با این وجود، مکانیابی تسهیلات مرتبط با پسماند تاکنون بیشتر به کمک محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳] و ترکیب آن با روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره[۴] انجام شده‌است. لذا تلاش در راستای مکانیابی صحیح این تسهیلات توسط محققین از دیدگاه علمی در کنار تصمیم‌های گروه‌های اجرایی از جمله شهرداری ها که مکانیابی واقعی تسهیلات را انجام می دهند، ضروری به نظر می رسد.

در این پژوهش هر یک از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به عنوان یک نقطه جمع‌آوری پسماند در نظر گرفته شده اند و برای مکانیابی تسهیلات انتقال و دفن، مناطقی با استانداردهای لازم به عنوان نقاط بالقوه معرفی شده‌اند. بدین منظور، سه منطقه خزانه، جوادیه و مهرآباد به عنوان نقاط بالقوه برای تسهیلات انتقال و دو منطقه اندیشه و قلعه‌نو نقاط بالقوه برای مراکز دفن توسط خبرگان این حوزه پیشنهاد شده‌اند. سپس، به هر یک از این نقاط، وزنی بر اساس معیارهای زیست محیطی- اجتماعی اختصاص یافته است و مکان‌های بهینه تسهیلات انتقال و دفن از بین نقاط بالقوه موجود

با هدف کاهش اثرات زیست محیطی- اجتماعی انتخاب شده اند.

جنبه جدید بودن و نوآوری این مقاله، لحاظ نمودن همزمان اهداف اقتصادی و زیست محیطی- اجتماعی در مسئله مکانیابی ایستگاه انتقال، در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های دنیای واقعی در پارامترهای مدل، انجام مطالعه موردی و تایید کاربردی بودن مدل است. مسئله مکانیابی ایستگاه های انتقال شهری در ایران موضوعی جدید و مورد استقبال سازمان های ذیربط می باشد و به نظر می رسد تا کنون به صورت مدلسازی جامع این مقاله به آن پرداخته نشده است و این پژوهش از لحاظ کاربردی نیز جدید می باشد. از طرفی، در ادبیات موضوع به کاربرد مدل‌های هاب در حوزه مدیریت شهری کمتر پرداخته شده است. لذا، مکانیابی ایستگاه های انتقال پسماند با دیدگاه هاب، از لحاظ نظری و کاربردی موضوعی جدید است چرا که تا کنون به طور غیر مستقیم از مفهوم هاب استفاده شده است. به علاوه، در نظر گرفتن صف ماشین‌های جمع‌آوری پسماند در ایستگاه انتقال در محدودیت‌ها از نقاط قوت این پژوهش است. این محدودیت با اثرات زیست محیطی مانند انتشار آلاینده های ناشی از پسماندها و انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از ماشین های جمع آوری موجود در صف انتظار و اثرات اجتماعی مانند ازدحام و ترافیک اطراف ایستگاه ها و انتشار بوی نامطبوع پسماندها رابطه مستقیم دارد. در این پژوهش، مطالعه مشاهده ای در چندین ایستگاه انتقال پسماند سطح شهر تهران صورت گرفته است و مشخصه های صف ماشین های جمع آوری از جمله طول صف، زمان انتظار، زمان خدمت دهی و نحوه ورود وسائل نقلیه مشخص شده اند و بر این اساس، رفتار صف با تابع توزیع ورود پواسون و تابع توزیع خدمت دهی نمایی انطباق یافته است.

نوآوری این مقاله در زمینه صف، لحاظ نمودن بعد مهمی از فرایندهای دنیای واقعی در مدل در قالب صف تشکیل شده از ماشین های جمع آوری در ورودی ایستگاه های انتقال پسماند و یا در ناحیه انتظار جهت عملیات تخلیه است تا به نتایج به دست آمده مکانیابی اعتبار بیشتری بخشیده شود. روشن است که این واقعیت ناشی از کمتر بودن تعداد مراکز خدمت دهنده در واحد توزین و منطقه عملیات تخلیه و فشرده سازی نسبت به تعداد ماشین های جمع‌آوری ورودی است همانطور که اشاره شد، انتظار در این صف، همواره همراه با مسائلی ازجمله مصرف سوخت، تصاعد بوی نامطبوع، نشت شیرابه و انتشار آلاینده های ناشی از پسماندها می باشد که تهدیدی برای محیط زیست و اجتماع محسوب می شود.

در این مقاله برای مقابله با اهداف متناقض از روش های بهینه سازی چندهدفه و جهت حل مدل از نرم افزار بهینه سازی گمز استفاده شده است. هدف علمی این مقاله، ارائه یک رویکرد بهینه سازی جهت تعیین تصمیمات مکان یابی تسهیلات انتقال پسماند در شرایط عدم قطعیت است که به منظور کمینه سازی هزینه ها و اثرات سوء زیست محیطی- اجتماعی به طور همزمان صورت می گیرد. همچنین این مدل، عوامل محیطی موثر بر تصمیمات مکانیابی در دنیای واقعی را در نظر می گیرد. یکی از این عوامل، صف ماشین های جمع آوری پسماند در مبادی ورودی ایستگاه های انتقال است که به دلیل فزونی ماشین های واردشده نسبت به ظرفیت خدمت‌دهی تشکیل می شود و عامل دیگر، وجود سناریوهای مختلف مرتبط با میزان پسماند تولیدی مناطق در ایام مختلف سال می باشد. همچنین، هدف کاربردی این مقاله، تلاش در راستای مدیریت کارآمد احداث ایستگاه های انتقال شهری با شناخت اثرات زیست محیطی - اجتماعی و پیامدهای احتمالی آنها در شهر تهران است.

مرور ادبیات

مسئله مکان‌یابی تسهیلات مدت‌ها است که مورد بحث میان محققین است. با این حال، آنها در دهه ۷۰ میلادی دریافته اند که همه تسهیلات خوشایند نیستند و مشتریان لزوماً همیشه خواستار نزدیک بودن به تسهیلات نیستند. به طور کلی، تحقیقات جهانی در رابطه با پسماند به سالهای ۱۹۸۰ میلادی و قبل از آن باز می گردد[۸]. حوزه تصمیمات مرتبط با مدیریت پسماند گسترده است. تصمیم گیری در خصوص مکان تسهیلات مرتبط با پسماند از مهمترین تصمیمات این حوزه محسوب می شود. تسهیلات مرتبط با پسماند ریسک هایی بر محیط زیست تحمیل می کنند. ریسک های مذکور علاوه بر پدید آوردن اتفاقاتی مانند انفجار مرکز دفن استانبول در سال ۱۹۹۳، عامل آلودگی زمین و آب های سطحی، آلودگی هوا و آلودگی صوتی می باشند. لذا، این تسهیلات ناخوشایند به شمار می آیند و ساکنین امروزی از نزدیکی به آنها رضایت ندارند و از تاثیرات نامطلوب این تسهیلات بر سلامتی، آلودگی زیست محیطی، آلودگی صوتی، ترافیک شکایت دارند. بهینه‌سازی عملیات شبکه جمع‌آوری پسماند از عوامل کاهش اثرات نامطلوب پسماند است[۹]. یکی از راه‌های مدیریت صحیح این شبکه، استفاده از تسهیلاتی به عنوان ایستگاه‌های انتقال می باشد.

مفهوم انتخاب نقاط میانی برای انتقال مواد به منظور کمینه سازی هزینه های حمل و نقل، برای اولین توسط مارکز و لیبمن (۱۹۷۱)، بیان شده است. مدل وی، یک مسئله عدد صحیح مختلط مکانیابی تسهیلات انتقال با محدودیت ظرفیت و در نظر گرفتن هزینه ثابت احداث برای همه نقاط می باشد که به دنبال مکان و تخصیص بهینه نقاط است به طوری که هزینه ها کمینه گردد[۱۰]. این مدل، یک مدل پایه در ادبیات برای مسائل مکانیابی ایستگاه های انتقال می باشد و سایر مدل ها نسخه های اصلاح شده آن می باشند.

در این زمینه، پایلی (۲۰۰۶)، به کاهش هزینهٔ حمل و نقل بین ایستگاه های انتقال پسماند و محل دفن توجه کرده است. او عامل اصلی صرفه جویی در هزینهٔ حمل و نقل را مکان ایستگاه انتقال پسماند نسبت به مکان دفن پسماند بیان کرده است و بر این اساس با استفاده از برنامه ریزی خطی، مکان بهینهٔ ایستگاه انتقال پسماند مورد نظر را مشخص کرده است[۱۱]. همچنین کومیلیس (۲۰۰۸)، کاهش هزینه و زمان رفت و برگشت وسایل نقلیه در آتن را اساس محاسبهٔ مسیر بهینهٔ حمل و نقل از نقاط مولد پسماند تا مرکز دفن قرار داده است. وی ایستگاه انتقال پسماند را عامل اصلی کاهش هزینه در نظر گرفته است و مدل برنامه ریزی خطی و غیرخطی را برای بهینه سازی حمل و نقل و انتقال پسماند های شهری ارائه داده است[۱۱].

به منظور مکان یابی ایستگاه های انتقال پسماند تحقیقات گسترده ای صورت گرفته است و دو دهه اخیر مدل ها و رویکردهای جدید را به همراه داشته است[۱۲]. با این حال، همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می شود، فصل مشترک این مدل ها استفاده از بهینه سازی ریاضی جهت یافتن مکان

های تقریبی برای ایستگاه های انتقال پیشنهادی و سپس به کار بردن ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره به منظور لحاظ کردن معیارهای مختلف است[۱۳].

جدول ۱ برخی مطالعات دنیای واقعی درباره مکانیابی مراکز دفن و ایستگاه های انتقال

سال	نویسندگان	کشور	روش	معیار/هدف	تسهیلات مورد مکانیابی
۱۹۷۱	Marks and Liebman	ایالات متحده	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه های ثابت و متغیر مکانیابی و حمل	ایستگاه های انتقال
۱۹۸۳	Wirasinghe and Waters	کانادا	مکانیابی- تخصیص (پیوسته)	کمینه سازی هزینه	ایستگاه های انتقال
۱۹۸۸	Gottinger	آلمان	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه (عملیاتی، حمل، ثابت)	تسهیلات زباله سوزی و مراکز دفن
۱۹۸۸	Kirca, Erkip	ترکیه	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه حمل	ایستگاه های انتقال
۱۹۹۳	Caruso, Colorni, Paruccini	ایتالیا	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح، روش وزن دهی به اهداف	کمینه سازی هزینه های ثابت سالیانه و حمل، میزان پسماند دفن شده، اثرات زیست محیطی، آلودگی هوا و مقاومت اجتماعی	کارخانه های پردازش (زباله سوزی، کمپوست سازی، بازیافت)، مراکز دفن
۱۹۹۶	Chang, Wang	تایوان	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	هزینه ، ازدحام ترافیک، اثر سروصدا، آلودگی هوا	توسعه یا افزودن مراکز دفن و ایستگاه های انتقال
۲۰۰۶	Eiselt	کانادا	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه حمل	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال
۲۰۰۶	Norese	ایتالیا	روش‌های چندمعیاره الکتره به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی برای محدودیت ها، رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی	برخی معیارهای معمول	یک مرکز دفن و یک تسهیل زباله سوزی
۲۰۰۷	Eiselt	کانادا	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه حمل و نقل	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال
۲۰۰۸	Antunes, Teixeira, Coutinho	پرتغال	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه حمل در کنار جریمه برای ایستگاه های انتقال، کمینه سازی جمعیت مجاور	یک تسهیل زباله سوزی
۲۰۰۸	Erkut, Karagiannidis, Perkoulidis, Tjandra	یونان	روش لگزیکوگرافی	کمینه سازی انتشارات گازهای گلخانه ای، کمینه سازی میزان دفن شده، بیشینه سازی استحصال انرژی، بیشینه سازی بازیابی مواد، کمینه سازی هزینه کل	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال، تسهیلات زباله سوزی و تسهیلات بازیابی مواد
۲۰۰۹	Mitropoulos,Giannikos, Mitropoulos, Akamides	یونان	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه های عملیاتی، حمل و نقل و احداث	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال
۲۰۰۹	Adamides, Mitropoulos, Giannikos, Mitropoulos	یونان	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح با رویکرد سیستم ها	کمینه سازی هزینه حمل، کمینه سازی مقاومت اجتماعی	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال
۲۰۱۰	Xi, Su, Huang, Qin, Jiang, Huo, Ji, Yao	چین	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح با روش تصمیم گیری چندمعیاره فازی	کمینه سازی هزینه حمل و توسعه، پذیرش عموم	مراکز دفن، تسهیلات زباله سوزی و ایستگاه های کمپوست سازی
۲۰۱۱	Tavares, Zsigraiová, Semiao	آفریقا	رویکرد تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی	برخی معیارهای معمول	یک تسهیل زباله سوزی
۲۰۱۴	Eiselt, Marianov	شیلی	برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح	کمینه سازی هزینه و آلودگی	مراکز دفن، ایستگاه های انتقال

نقاط هاب تسهیلات ویژه‌ای هستند که به عنوان نقاط تعویض، انتقال و طبقه‌بندی در بسیاری از سیستم‌های توزیع بکار گرفته می‌شوند. در واقع این تسهیلات واسطه ای ، میان نقاط مبدا و مقصد قرار می‌گیرند و با ایجاد اتصالات غیر مستقیم و تسهیل در امر انتقال موجب صرفه جویی زمان می‌گردند. بنابراین مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند نوعی مسئله مکانیابی هاب می‌باشد که هدف آن یافتن هاب‌ها و مسیرها برای فرستادن کالا از یک سری مبدأ به یک سری مقصد است، به طوری که فرآیند جمع‌آوری و توزیع بهینه شود[۱۴]. ایستگاه‌های انتقال در شبکه جمع‌آوری پسماند به طور غیر مستقیم از مفهوم هاب موجود در ادبیات بهره گرفته‌اند و در واقع مراکز سازمان دهی حمل و نقل محسوب می‌شوند و به علت ارتباط مستقیمی که با تعدادی گره های غیر هاب یعنی مراکز دفن و نقاط مولد پسماند شهری دارند، نقاط میانی مورد قبول در دسترسی برای جمع‌آوری و انتقال پسماند به شمار می‌روند.

مسئله مکانیابی هاب، زیرمجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی شبکه است که مکانیابی تسهیلات هاب و طراحی شبکه میان این تسهیلات را شامل می‌شود. این مسائل که بیشتر با هدف طراحی بهینه انواع شبکه های حمل و نقل مطرح میشوند، قدمت طولانی ندارد. مسائل مکانیابی هاب دارای

ویژگی هایی از جمله فضای تابع هدف، گسسته یا پیوسته بودن فضا، تعداد هاب‌ها، هزینه ایجاد واستقرار هاب، تخصیص از لحاظ تعداد هاب، تعداد تابع هدف، قطعیت، روش حل هستند که موجب مطرح شدن مقالات متعددی در این زمینه شده اند[۱۵] ، [۱۶]. به طور کلی می توان گفت، تمرکز اکثر مقالات مرتبط با هاب تا سال ۱۹۸۰ روی مدلسازی اولیه مسئله، تا سال ۱۹۹۰ روی مدلسازی و بهینه‌سازی آن است و در سال‌های اخیر به سمت ارائه مدل های پیشرفته و روش‌های حل مختلف معطوف شده است[۱۰].

مکانیابی ایستگاه‌های انتقال به عنوان هاب در حالت قطعی برای اولین بار در مقاله ایزلت (۲۰۰۷ مطرح شده است[۹]. مدل وی مشابه یک مسئله مکانیابی هاب میانه تک هدفه در حالت قطعی است. وی به تازگی مطالعات خود را گسترش داده است و با بررسی مقالات منتشر شده در این حوزه، تمرکز بیشتری بر مکانیابی ایستگاه های انتقال ایجاد کرده است. ایزلت (۲۰۱۴)، معتقد است که اگرچه بین ایستگاه‌های انتقال پسماند جریانی وجود ندارد و تسهیلات مذکور از این لحاظ با نقاط هاب متفاوت اند، اما به لحاظ جنبه‌هایی مانند وجود عامل تخفیف جریان و سایر کارکردهای مشابه، می‌توان برای مکانیابی این ایستگاه‌ها رویکردی مشابه مسائل مکانیابی هاب داشت[۱۷].

به کارگیری تسهیلات هاب در سیستم های توزیع و شبکه های ارتباطی مسائل زیست محیطی و اجتماعی زیادی در این تسهیلات و مسیرهای متصل به آنها ایجاد می کند که از جمله آنها می توان به اثرات زیست محیطی و اجتماعی ناشی از انباشتگی و ازدحام در هاب ها، افزایش تعداد انتقال ها و افزایش هزینه و زمان در برخی از مسیرها اشاره کرد[۱۸]. دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی را باید آغاز نگرانی‌ها و توجه مردم به حفظ محیط زیست و نیز توجه به آثار زیست‌محیطی در فعالیت‌های مختلف دانست. طی دهه اخیر، با توجه به الزامات زیست محیطی مطرح شده در سطح بین المللی، توجه بیشتر به ساز و کارهای زیست محیطی افزایش چشم‌گیری داشته است. در واقع، محیط زیست‌گرایی در هزارهٔ جدید یکی از موضوعات مهم به‌شمار می‌رود. از طرفی، بخش اصلی مدیریت صحیح ایستگاه انتقال پسماند مربوط به مکان‌یابی این تسهیلات است که بایستی در راستای حفظ سلامتی، ایمنی و رفاه افراد جامعه و جلوگیری از ایجاد اثرات سوء زیست محیطی انجام شود چرا که سوء مدیریت در این زمینه اثرات جبران ناپذیری برمحیط زیست، سلامتی و بهداشت افراد داشته باشد [۱۹].

با وجود مسائل زیست محیطی مهم در گره‌ها و کمان‌های موجود در مسئله نوظهور مکانیابی هاب، تا کنون تنها تلاش های اندکی در حوزه مکان-یابی این تسهیلات با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی و اجتماعی انجام شده است. به منظور توجه بیشتر به این شکاف تحقیقاتی، در مقالات (لم۵ و همکاران،۲۰۱۳) و (توکلی و همکاران، ۲۰۱۴) رویکرد جدیدی در حوزه مکانیابی هاب دیده می شود. در پژوهش آقای توکلی و همکاران سعی شده است علاوه بر هدف کمینه سازی هزینه‌های حمل و نقل، کاهش میزان نشر گازهای گلخانه‌ای توسط وسایل نقلیه و میزان آلودگی صوتی این وسائل در هاب‌ها نیز به مسئله اضافه شود[۲۰]، [۲۱].در این مقاله تنها عامل تولید آلودگی زیست‌محیطی در هاب‌ها، گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شده است. همچنین، ایزلت و همکارانش (۲۰۱۴)، یک مدل عددصحیح خطی ارائه کرده اند.که به طور همزمان به مکانیابی و تعیین اندازه مراکز دفن، مکانیابی ایستگاه های انتقال و کمینه سازی هزینه و آلودگی می پردازد[۱۷].

از طرفی، برنامه‌ریزی، طراحی و بهره برداری از ایستگاه‌های انتقال پسماند مستلزم تجزیه و تحلیل سیستم صف‌بندی وسایل نقلیه است تا بر اساس آن پارامترهای صف و در نتیجه سطح خدمت سیستم مشخص شود. نظریه صف برای اولین بار در سال ۱۹۰۹ توسط آقای ارلنگ برای تحلیل معضلات ترافیک استفاده شده است. البته کاربردهای این نظریه در طول زمان تغییرات زیادی یافته است ولی اصول و مفاهیم ریاضی آن تقریبا ثابت بوده است. نظریه صف برای توصیف پدیده صف‌های انتظار واحدهای متقاضی دریافت خدمات گسترش یافته است. بر حسب اینکه نحوه ورود و خدمت‌دهی در سیستم صف توابع معین یا احتمالی باشند، مدل‌های صف غیر احتمالی و یا احتمالی ایجاد می‌شوند. در جایگاه‌های موجود در ایستگاه‌های انتقال پسماند متغیرهای ورود و خدمت‌دهی عموماً احتمالی هستند و لذا برای توصیف آنها از مدل‌های احتمالی استفاده می‌شود[۵].

در مورد درنظر گرفتن نظریه صف در مدل‌های مکانیابی، مطالعات کمی در زمینه خاص تجزیه و تحلیل صف در تسهیلات مرتبط با پسماند انجام شده است، گرچه برخی مطالعات از جمله کارهای اوداً[۶]، تاناکا[۷]، فراگنلی[۸] و لاندولینو[۹] از تجزیه و تحلیل صف در بررسی سایر جنبه های تسهیلات پسماند استفاده کرده اند. رونالد و همکاران، (۲۰۰۹) بیان کرده اند که در ایالات متحده آمریکا، تسهیلات مختلف دریافت پسماند مانند تسهیلات انتقال، بازیافت، استحصال انرژی و مراکز دفن دارای سه صف شامل صف (Q1) در واحد توزین جهت وزن کردن محموله ها، صف (Q2) در محل سرازیرشدن پسماند جهت عملیات تخلیه و صف (Q3) خروجی تشکیل شده بین محل تخلیه و واحد توزین نهایی هستند[۵].

تکنیک های صف احتمالی مبتنی بر توزیع‌های تئوریک، یک توزیع خاص برای توصیف نرخ ورود وسائل نقلیه و یک توزیع خاص برای توصیف نرخ خدمت دهی در نظر می‌گیرند. این دو توزیع ممکن است یکسان یا غیریکسان باشند [۵]. آگراوال[۱۰] در مطالعه ایستگاه انتقال شهر نیویورک برای زمان بین ورود وسایل در صف Q1 یک توزیع نمایی و برای زمان خدمت در صف Q1 و Q2 یک توزیع سه پارامتری گاما در نظر می گیرد. این توزیع های در نظر گرفته شده در مقابل داده‌های مشاهده شده با تست های نکویی برازش مربع کای و کولمگروف اسمرینف آزمون شده اند و در سطح ۵٪ قابل قبول بوده اند[۶].

هامفریز[۱۱] با تحلیل داده های یک ایستگاه انتقال در انگلستان، تشخیص داد که توزیع پواسن ورود وسائل نقلیه را نشان می دهد و آزمون مربع کای نتیجه بالای ۹۵٪ را برای آن نشان می دهد. وی برای زمان خدمت در ناحیه تخلیه پسماند اشاره می کند که یک توزیع نمایی منفی اغلب می تواند توصیف کننده شرایط باشد. وی بیان می کند که گرچه توزیع های وایبول و گاما می توانند از لحاظ نظری برای زمان خدمت در صف Q2 مناسب باشند، اما داده های آزمون شده به خوبی با آنها سازگار نیستند. وی پیشنهاد می دهد که توزیع ارلنگ می تواند در عمل استفاده شود اما

بیان می کند که برخی مشکلات بالقوه در این رویکرد پدید خواهدآمد. اوورت و اپلگیت[۱۲] مشاهده کردند که توزیع پواسن موجود در مطالعه هامفریز برای زمان ورود هر وسیله نقلیه توزیع نمایی نیز یک مدل مناسب برای زمان بین ورودها است [۵]، [۶].

در مطالعه (رونالد و همکاران، ۲۰۰۹) داده ها به عنوان رابطه نمایی معکوس رسم و خطی سازی شده اند. مشخص شد که رابطه نمایی منفی می تواند برای توصیف زمان های ورود در هر سه نوع مختلف صف و زمان خدمت صف توزین استفاده شود. مدل‌های مکانیابی که به وضوح مسئله صف و اثرات محیطی آن را در نظر می گیرند، بیشتر در ادبیات سیستم‌های اضطراری یافت می شوند و مروری بر این مدلها را می توان در سرا و ماریانو[۱۳] یافت[۲۲].

با توجه به نقد ادبیات و نتایج و استنباط های به دست آمده از طریق مرور ادبیات، روشن است که بررسی‌های کافی در ادبیات مکانیابی هاب درباره درنظر گرفتن توابع هدف متضاد در مساله مکانیابی هاب کمتر دیده شده است. اغلب ادبیات موجود در زمینه هاب تا قبل از سال ۲۰۱۴ بر بیشینه سازی سود و کمینه سازی هزینه یا زمان و مسافت سفر به عنوان معیار برای توابع هدف سنتی تمرکز دارند اما با توجه به اهمیت بالای مسائل زیست محیطی و اجتماعی، تصمیم گیری ها و اهداف مقالات به سوی لحاظ کردن این جنبه ها در کنار جنبه اقتصادی تمایل پیدا کرده اند. با در نظر گرفتن اهداف متضاد، مسائل واقعی بیشتری می توانند مورد تحلیل بهتر قرار بگیرند. برای نزدیک تر شدن به شرایط واقعی نیاز است که به تاثیرات اجتماعی و محیط زیستی در کنار جنبه های اقتصادی معمول در مدلسازی ها اهمیت داده شود. البته چالش اصلی، کمی سازی اثرات اجتماعی و زیست محیطی در مدل ها است[۱۷].

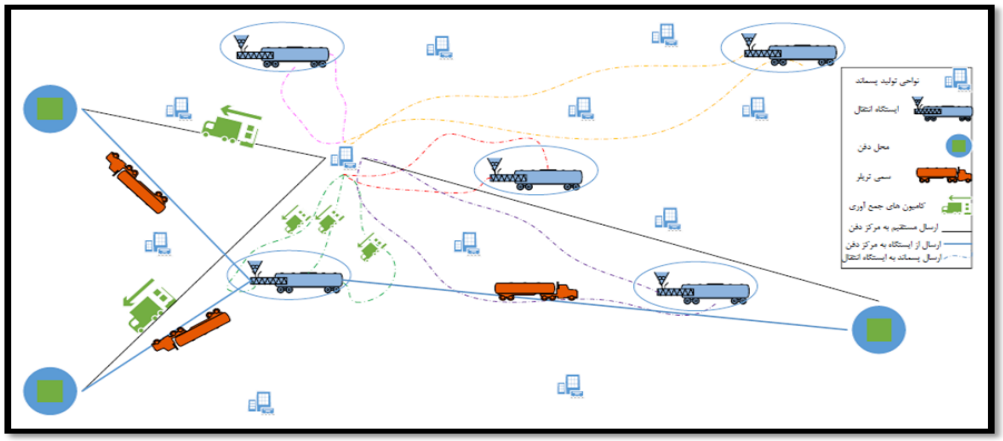
با وجود عدم قطعیت های موجود در دنیای واقعی، در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی در مسائل کمتر دیده شده است. در اکثر پارامترها، لحاظ کردن عدم قطعیت های دنیای واقعی یکی از مواردی است که در نظرگرفتن آن جهت برنامه ریزی های آینده امری انکار ناپذیر است[۲۳]. این امر در مسائل مکانیابی ایستگاه‌های انتقال نیز به چشم می خورد و لازم است جهت نزدیک تر شدن فضای مسئله به شرایط واقعی به عدم قطعیت های موجود اثرگذار در تصمیمات توجه شود.

همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، در حوزه مکانیابی ایستگاه‌های انتقال پسماند تعداد محدودی از مطالعات کمی هستند بوده و با استفاده از مدل-سازی ریاضی به انتخاب نقاط بهینه پرداخته‌اند. اکثر مقالات ارائه شده در این زمینه از طریق استفاده از نرم‌افزارهای مربوط به سیستم اطلاعات جغرافیایی مکان بهینه را انتخاب کرده‌اند و کمتر پژوهشی به طور همزمان عامل هزینه و توجه به معیارهای زیست‌محیطی - اجتماعی را در نظر گرفته است. همچنین به نظر می‌رسد که در میان مقالاتی که به طور همزمان هزینه و معیارهای زیست‌محیطی- اجتماعی ایستگاه‌های انتقال را در نظر گرفته‌اند، هیچ یک از مدل‌های با توابع هدف چندگانه برای بهینه‌سازی استفاده نکرده اند و اغلب از روش‌هایی مانند چندمعیاره بهره برده‌اند.

تعریف مسئله

در مسئله مورد نظر، مجموعه‌ای از مناطق شهری وجود دارند که هر روزه پسماند تولید می‌کنند. پسماندهای تولید شده از دو طریق به مرکز دفن پسماند جهت پردازش، بازیافت و دفن منتقل می‌شود. در روش‌اول، پسماند جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر به طور مستقیم به مراکز دفن ارسال می‌شوند. در روش دوم، برای کاهش تعداد تریلرهای مخصوص انتقال پسماند به مراکز دفن، مجموع زمان حمل و نقل، تواتر حمل و نقل و کاهش هزینه‌ها، پسماندهای جمع آوری شده ابتدا به ایستگاه‌های انتقال دارای ظرفیت مشخص در سطح شهر فرستاده می شوند و پس از تخلیه و بارگیری از آنجا به مرکز دفن ارسال گردند. همانطور که واضح است، در دنیای واقعی میزان پسماند تولیدی در ایام خاص سال مانند فصول گرم و سرد و یا ماه آخر سال متفاوت است و در نتیجه سناریوهای مختلفی برای تولید پسماند وجود دارد. از این رو در مدل‌سازی مسئله، رویکرد سناریویی در نظر گرفته شده‌است که با بررسی داده های مربوط به تولید پسماند در سنوات گذشته، احتمال رخداد هر سناریو قابل محاسبه است.

برای درک بهتر مسئله، نمایی از شرایط مسئله در شکل۱ ترسیم شده است. در این شکل، برای استفاده بهتر از فضا تنها خطوط ارتباطی یک محل جمع آوری ترسیم شده است.



شکل ۱ نمایی از شبکه مسئله مورد بررسی

هدف اصلی اکثر مدل‌های ریاضی کمینه سازی هزینه‌ها می‌باشد، اما در واقعیت دستیابی به اهداف گوناگون دیگری نیز در کنار اهداف اقتصادی حائز اهمیت هستند و به همین دلیل مدلسازی‌های چند هدفه رواج یافته است. در پژوهش حاضر، هدف اول به کمینه سازی هزینه‌های انتقال پسماند به محل دفن به طور مستقیم و یا با بهره‌گیری از هاب می‌پردازد. هدف دوم مربوط به بیشینه‌سازی امتیازهای زیست‌محیطی و اجتماعی است به طوریکه نقاط بالقوه جهت احداث هاب با رویکرد تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و براساس معیارهای شناسایی شده ۴ دسته اصلی منفعت، فرصت، هزینه، ریسک مکانیابی حاصل پژوهش‌های علمی گذشته و نظر کارشناسان خبره، امتیازدهی می‌شوند و درنتیجه انتخاب حاصل حدالامکان مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی کمتری ایجاد می‌کند.

همانطور که در مقدمه اشاره شد، جهت نزدیک تر کردن فضای مسئله به دنیای واقعی ، صف تشکیل شده توسط ماشین های جمع آوری در نظر گرفته می شود. یک سیستم صف را می‌توان به صورت مشتریانی تعریف کرد که برای خدمت گرفتن وارد سیستم می‌شوند و اگر خدمت در اختیار نباشد، جهت دریافت آن منتظر می‌مانند و سپس سیستم را ترک میکنند. در تئوری صف، مشتری لفظ عامی است که برای موجودیتی به کار می‌رود که برای دریافت خدمت، به سیستمی که این خدمت را فراهم می‌کند، وارد می‌شود. ابزاری که این چنین خدمتی را در اختیار مشتری قرار می‌دهد، خدمت‌دهنده نام دارد [۲۴]. معمولا سه جنبه اصلی فرآیند ورود[۱۴]، نظم صف[۱۵] و مکانیزم خدمت[۱۶] برای یک سیستم خط انتظار قابل تشخیص و تعریف هستند.

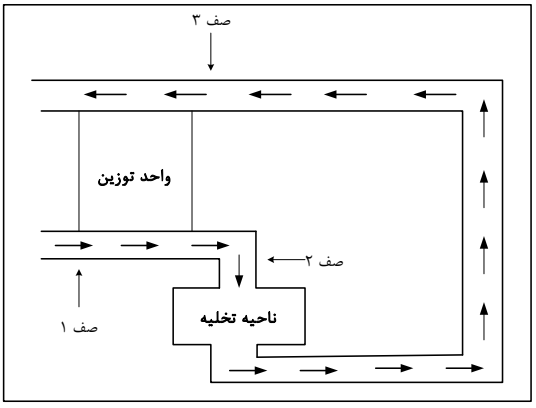
فرآیند ورود به معنای توصیف ریاضی نحوه ورود مشتریان است. در بسیاری از موارد، ورود می تواند یک فرآیند پوآسون با پارامتر مناسب باشد. منظور از نظم صف طریقه‌ای است که یک خط انتظار تشکیل، اداره و به مشتریان خدمت ارائه می شود. مکانیزم خدمت در ارتباط با خروج از سیستم می باشد. معمولا از جمله عوامل مهم در آن توزیع احتمالی زمان خدمت، تعداد پایگاه های خدمت و طریقه قرار گرفتن پایگاه های خدماتی است [۲۵].

برای سنجش عملکرد یک سیستم صف از سه معیار طول صف، زمان انتظار هر مشتری در صف و درصدی از زمان که سیستم به علت نبودن مشتری بیکار است، بهره می‌گیرند. از یک سو، تشکیل صف همواره هزینه زا است و از سوی دیگر سازمان مجبور است فضایی برای انتظار مشتریان اختصاص دهد. بنابراین تعداد مشتریانی که در صف منتظر دریافت خدمت هستند، معیاری برای ارزیابی سیستم صف محسوب می‌شوند. به علاوه، سازمان برای حضور هر خدمت دهنده در سیستم هزینه ای به صورت ثابت یا متغیر تخصیص می دهد و تلاش دارد تا درصد بیکاری خدمت دهنده ها را به حداقل ممکن برساند.

اگرچه اجرای شیوه مکانیزه موجب کاهش تردد خودروها و از بین رفتن صف طولانی در ایستگاه ها شده است ولی همچنان خودروهایی در صف انتظار تحویل پسماند به ایستگاه و یا در انتظار عملیات تخلیه هستند و سعی بر این است که طول این صف کنترل شود و از مقدار مشخصی بیشتر نگردد[۲۵].

در این مقاله، مسئلهٔ کمینه سازی احتمال طولانی بودن صف با اضافه کردن یک محدودیت احتمالی به مدل پایهٔ هاب در نظرگرفته شده است. در این محدودیت، احتمال اینکه تعداد ماشین‌های جمع‌آوری پسماند موجود در صف از تعداد مجاز (b) بیشتر شود، باید از مقدار معینی کمتر باشد. براساس نتایج مقاله رونالد و همکاران(۲۰۰۹) در زمینه صف موجود در ایستگاه های انتقال، در این تحقیق توزیع احتمال زمان خدمت‌دهی در ایستگاه انتقال که شامل زمان لازم برای تخلیه و عملیات بعدی است، ثابت و توزیع زمان ورود ماشین های جمع آوری به ایستگاه پواسون در نظر گرفته شده است [۲۶].

علی رغم اینکه رونالد و همکاران(۲۰۰۹) به سه صف موجود در ایستگاه های انتقال که در شکل ۲ نمایش داده شده اند، اشاره کرده اند، در سال-های اخیر به سبب تغییرات فناوری در کنار استفاده از خودروهای بزرگتر با فناوری های خاص جهت حمل به مراکز دفن در عمل تنها صف Q1 تشکیل می‌شود و صفوف سایر واحدها به دلیل اثرات ناچیز نسبت به اثرات صف ورودی در نظر گرفته نمی‌شوند. لذا، تمرکز این مقاله بر صف ورودی Q1 است.



شکل ۲ مکان های معمول صف های Q1 تا Q3 در تسهیلات مرتبط با پسماندهای شهری

مفروضاتی که در مدلسازی این مسئله در نظر گرفته شده اند، به شرح ذیل می‌باشند.

- تعداد مراکز دفن و هاب‌هایی که باید مکانیابی شوند، مشخص است.
- پسماندها به دو روش ارسال مستقیم و یا ارسال از طریق هاب به مراکز دفن فرستاده می‌شوند.
- هر ایستگاه ظرفیت محدودی دارد.
- وزن معیارهای اجتماعی - زیست محیطی هر مکان بالقوه جهت احداث ایستگاه انتقال قبلا توسط کارشناسان خبره محاسبه شده است.
- کل پسماندهای منتقل شده به تسهیلات انتقال به مراکز دفن فرستاده می‌شوند.
- دو سناریو محتمل مطرح شده است که با احتمال وقوع هر یک مشخص است. در سناریو (۱) میزان پسماند تولیدی که باید از نقاط شهری جمع آوری و منتقل شود، متوسط است و دارای میانگین یکسان در بیشتر روزهای سال می‌باشد. در سناریو (۲) شرایط خاص در نظرگرفته می‌شود که در آن میزان پسماند تولیدی به دلایلی همچون قرار گرفتن در روزهای خاص سال و اعیاد ویژه بیشتر است.
- تنها اثرات صف ورودی در نظر گرفته می‌شوند و صف سایر واحدها مطابق با واقعیت دارای اثر ناچیز فرض شده اند.
- توزیع زمان خدمت دهی و زمان ورود ماشین‌های جمع‌آوری پسماند به ایستگاه انتقال مشخص است.

به این ترتیب انتظار می رود که تصمیمات مستخرج از این مقاله منجر به یافتن مکان مناسب برای این ایستگاه های انتقال به گونه ای شود که ضمن کاهش هزینه های حمل و نقل ، مخاطرات مربوط به مسائل زیست محیطی و اجتماعی نیز با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده تا حد ممکن کاهش یابد. درکنار درنظر گرفتن اهداف فوق، تلاش این مدلسازی بر این است که طول صف ماشین های جمع آوری در انتظار خدمت نیز از حد معینی بیشتر نگردد. این تصمیم گیری در مقیاس کوچک انجام شده است و می تواند برای تصمیم گیری های جامع برای تعداد بیشتری از تسهیلات نیز در نظر گرفته شود.

روش تحقیق

انتخاب مکان بهینه تسهیلات انتقال و دفن یکی از مهمترین تصمیمات بخش‌های مدیریت پسماند است که نیازمند به تصمیم‌گیری با توجه به معیارهای مختلف است. روش کار بدین صورت است که به منظور تعیین مکان بهینه، گزینه‌ها شامل نقاط بالقوه با معیارهای زیست محیطی و اجتماعی ارزیابی می‌شوند و از امتیاز مکتسبه آنها در مدلسازی مسئله استفاده می‌شود. درواقع، هدف این است که با انتخاب تعداد مشخصی از تسهیلات انتقال از بین نقاط بالقوه که هر یک امتیازهای مربوط به خود را گرفته‌اند، بیشترین امتیاز محیطی اجتماعی حاصل شود. سپس مسئله چندهدفه، با هدف کاهش هزینه‌های حمل و نقل برای انتقال پسماندها به تسهیلات انتقال و دفن و هدف بیشینه سازی امتیاز زیست محیطی و اجتماعی تسهیلات منتخب مدلسازی می شود و مکان های بهینه تعیین می‌گردند. همچنین محدودیتی در مدل قرار داده شده است که از احداث ایستگاه انتقال در مکان هایی که باعث تشکیل صف‌های طولانی می‌شوند، جلوگیری می‌کند.

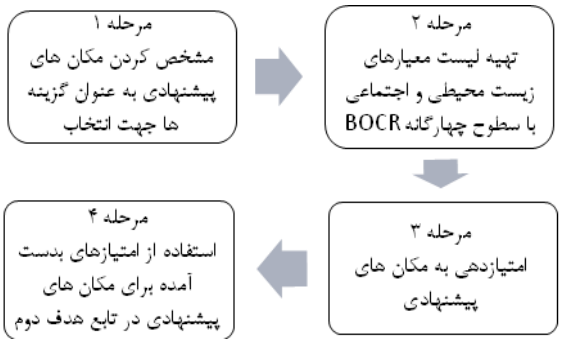
تصمیم گیری چندمعیاره جهت تعیین امتیاز زیست محیطی و اجتماعی مراکز

انتخاب شاخص‌های مناسب در ارزیابی هر موضوع، امکان مقایسه درست بین گزینه‌ها را به تصمیم گیرندگان می‌دهد. زمانی که چندین شاخص برای ارزیابی لحاظ گردد، مقایسه از حالت ساده تحلیلی خارج می‌شود و به ابزار تحلیل عملی نیاز خواهد بود. تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه،

جهت فائق آمدن بر مشکلاتی که نیاز به تصمیم‌گیری در برابر حجم زیادی از اطلاعات پیچیده دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی[۱۷] یکی از گسترده‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است [۱۳]، [۲۷].

در این پژوهش، ابتدا گزینه‌ها یعنی نقاط بالقوه معرفی شده‌اند و سپس معیارهای مکان‌یابی، که حاصل پژوهش‌های علمی گذشته و نظر کارشناسان خبره می‌باشند، در ۴ دسته اصلی منفعت، فرصت، هزینه، ریسک شناسایی شده‌اند. نظر به تمرکز موضوع این پژوهش بر انتقال و دفن پسماند مسائلی از قبیل محافظت از تنوع زیستی، آمایش زمین، انواع آلودگی (صوتی، دیداری، شنیداری، بویایی)، سلامت افراد منطقه، مقاومت‌های اجتماعی و همچنین آلاینده‌های حاصل از پسماند به عنوان معیارهای زیست‌محیطی- اجتماعی در مدلسازی مسئله لحاظ شده‌اند.

سرانجام، بهترین گزینه‌ها بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی می‌شوند و به هر نقطه بالقوه جهت احداث هاب امتیازی تعلق می‌گیرد. مراحل روش پیشنهادی برای مکان‌یابی بهینه تسهیلات هاب پسماند با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱ روش پیشنهادی برای تعیین مکان بهینه ایستگاه انتقال پسماند با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره

مدلسازی ریاضی چندهدفه

در این بخش، ابتدا مجموعه‌ها و پارامترهای مورد استفاده در مدل معرفی شده اند و سپس به تشریح مدل پرداخته خواهد شد.

مجموعه ها

- i مجموعه مشتریان
- j مجموعه مراکز دفن
- k مجموعه هاب ها
- n مجموعه سناریوها

پارامترها

- d_{ij}: فاصله بین مشتری i و محل دفن j
- e_{ik}: فاصله بین مشتری i و هاب k
- c_{kj}: فاصله بین هاب k و محل دفن j
- α: ضریب تخفیف
- r: تعداد مراکز دفن
- q: تعداد تسهیلات هاب
- a_{ij}^{n}: تعداد ماشین‌های مخصوص حمل پسماند از ناحیه i به محل دفن j در سناریو n
- π^{n}: احتمال وقوع سناریو n
- Q: ظرفیت هاب
- b: تعداد مجاز ماشین های جمع آوری موجود در صف

- θ_q: حد بالای احتمال سرریز شدن طول صف از مقدار معین b
- m: ظرفیت یک ماشین جمع‌آوری پسماند
- h_k: امتیاز هاب k از معیارهای زیست محیطی- اجتماعی حاصل از تصمیم گیری چندمعیاره (بخش ۲-۱)

متغیرهای تصمیم

- X_{ij}^{n}: برابر ۱ اگر پسماند مشتری i در سناریوی n به طور مستقیم به مرکز دفن j فرستاده شود.
- W_{ikj}^{n}: برابر ۱ اگر پسماند مشتری i در سناریوی n از طریق هاب k به مرکز دفن j فرستاده شود.
- Y_j: برابر ۱ اگر مرکز دفن پسماند در محل j مکانیابی شود.
- O_k: برابر ۱ اگر هاب پسماند در محل k مکانیابی شود.

شرح مدل

مدل ریاضی پیشنهادی ذیل در راستای مسئله توصیف شده در این پژوهش ارائه شده است.

$$Min \quad TTC = \sum_i \sum_j \sum_n \pi^n a_{ij}^n d_{ij} X_{ij}^n + \sum_i \sum_k \sum_l \sum_n \pi^n a_{ij}^n (e_{ik} + \alpha c_{kj}) W_{ikj}^n \qquad (1)$$

$$Max \quad TW = \sum_k H_k O_k \qquad (2)$$

$$st:$$

$$\sum_j Y_j = r \qquad (3)$$

$$\sum_k O_k = q \qquad (4)$$

$$\sum_j (X_{ij}^n + \sum_k W_{ikj}^n) = 1 \qquad \forall i, n \qquad (5)$$

$$X_{ij} \le Y_j \qquad \forall i, j \qquad (6)$$

$$\sum_j W_{ikj}^n \le O_k \qquad \forall i, k \qquad (7)$$

$$\sum_n \sum_i \sum_k m \pi^n X_{ij} a_{ij}^n + m \pi^n W_{ikj} a_{ij}^n \le Q \qquad \forall j \qquad (8)$$

$$P\{k \text{ طول صف در نقطه} > b\} < \theta_q \qquad (9)$$

$$X_{ij}^n, W_{ikj}^n \ge 0 \qquad \forall i, j, k, n \qquad (10)$$

$$Y_j = \{0,1\} \qquad \forall j \qquad (11)$$

$$O_k = \{0,1\} \qquad \forall k \qquad (12)$$

محدودیت ها و توابع هدفی که در این مدلسازی وجود دارند، به شرح ذیل است:

عبارت شماره (۱) ، تابع هدف اول (TTC) مسئله است. این عبارت مجموع هزینه‌های ارسال پسماند به ایستگاه‌های انتقال و مراکز دفن را کمینه می‌کند. عبارت شماره ۲ تابع هدف دوم (TW) مسئله می‌باشد که تلاش بر بیشینه سازی مجموع وزن معیارهای زیست محیطی - اجتماعی دارد. محدودیت شماره (۳) و (۴) مربوط به تعداد هاب‌ها و مراکز دفن است. محدودیت شماره (۵) بیان می‌کند که تنها درصورتی می‌توان به یک مرکز دفن، پسماند ارسال کرد که آن مرکز انتخاب شده باشد. محدودیت (۶) تنها زمانی امکان ارسال پسماند به محل دفن j را می دهد که محل دفنی در مکان j تاسیس شده باشد. به طور مشابه محدودیت شماره (۷) نیز تنها درصورت احداث هاب در مکان k اجازه ارسال پسماند به آن را می‌دهد. محدودیت شماره (۸) محدودیت ظرفیت مکان‌های دفن است. محدودیت (۱۰) مثبت بودن و محدودیت های (۱۱) و (۱۲) صفر و یک بودن متغیرها را بیان می‌کنند.

محدودیت (۹) تضمین می کند که احتمال اینکه تعداد ماشین های جمع آوری موجود در صف انتظار برای دریافت خدمت بیشتر از تعداد مجاز b باشند، کمتر از مقدار θ_q باشد. لیکن، این محدودیت باید به صورت تحلیلی نوشته شود تا قابل حل باشد.

اگر P_s مقدار احتمال حالت پایدار[۱۸] اینکه s ماشین جمع آوری با c محل پردازش در ایستگاه باشند، می‌توان قرار داد:

$$1-\sum_{s=0}^{b+c} P_s \le \theta_q \qquad (۱۳)$$

یا

$$\sum_{s=b+c+1}^{\infty} P_s \le \theta_q$$

عبارت (۱۳) نشان دهنده این است که بیشتر از b ماشین جمع آوری در صف باشند، درحالیکه c تای آنها پردازش می‌شوند.

سپس برای محاسبه P_s ، با درنظر گرفتن نرخ ورود λ و زمان خدمت دهی $T=\frac{1}{\mu}$ که در آن μ نرخ خدمت دهی است، تابع زاینده احتمالات حالت پایدار به شکل زیر نوشته می شود:

$$P(z)=\frac{(1-z)\sum_{i=o}^{c-1} v_i z^i}{1-z^c e^{\lambda T(1-z)}} \qquad (۱۴)$$

که c تعداد خدمت دهنده های موجود در ایستگاه انتقال است و v_i به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\sum_{i=0}^{c-1} v_i = c-\lambda T \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=0}^{c-1} v_i z_j^i = 0 \qquad j=1,2,\ldots,c-1 \qquad (۱۶)$$

در رابطه فوق z_j ، j امین ریشه معادله (۱۷) است :

$$1-z^c e^{\lambda T(1-z)} = 0 \qquad (۱۷)$$

شایان ذکر است که توزیع حدی (شرایط تعادل) برای P_s زمانی که رابطه $C \ge \lambda T$ برقرار باشد، وجود دارد و در غیر این صورت طول صف به بی نهایت میل خواهد کرد. معادله (۱۷) دقیقا c ریشه متمایز دارد z_j که یکی از آنها ۱ است و همگی درون یا بر روی دایره واحد $|Z|<1$ قرار دارند . اگر این ریشه ها معلوم باشند، دستگاه شامل معادلات (۱۵) و (۱۶) ، دترمینان غیر صفر دارند و به این ترتیب پارامترهای مجهول $v_0, v_1, \ldots, v_{c-1}$ بدست خواهند آمد. با انجام عملیات جبری لازم، میتوان ضریب P_s را به صورت زیر یافت:

$$p_0 = v_0 \qquad (۱۸)$$

$$p_s = v_s + v_{s-1} \qquad 1 \le s \le c-1 \qquad (۱۹)$$

$$p_s = \sum_{j=0}^{c-1} \left[\sum_{k=0}^{r} v_j e^{\lambda kT}(-1)^{s-j-kc}\frac{(\lambda kT)^{s-j-kc}}{(s-j-kc)!} - \sum_{k=0}^{u} v_j e^{\lambda kT}(-1)^{s-j-kc-1}\frac{(\lambda kT)^{s-j-kc-1}}{(s-j-kc-1)!}\right] \qquad (۲۰)$$

که در آن معادلات (۲۱) و (۲۲) برقرار است :

$$r = (s-j)/c \qquad (۲۱)$$

$$u = (s-j-1)/c \qquad (۲۲)$$

اگر مقادیر c, T, λ معلوم باشند، میتوان P_s ها را از معادلات (۱۸) الی (۲۰) محاسبه کرد. همچنین محدودیت احتمالی (۹) را میتوان برای گره هایی که ایستگاه انتقال هستند، به صورت زیر نوشت :

$$1-\sum_{s=0}^{b+c} p_s \le \theta_q$$

یا

$$\sum_{s=0}^{b+c} p_s \ge 1-\theta_q \qquad (۲۳)$$

در این صورت ، λ نرخ ورود ماشین های جمع آوری به ایستگاه انتقال، c تعداد محل های توزین و تخلیه در همان ایستگاه و T زمان خدمت در هر محل توزین و تخلیه می باشند. به این ترتیب این محدودیت به صورت زیر است:

$$v_{c-1}+\sum_{s=c}^{c+b}\{\sum_{j=0}^{c-1}[\sum_{k=0}^{r} v_j e^{k\lambda T}(-1)^{s-j-kc}\frac{(-1)^{s-j-kc}}{(s-j-kc)!}-\sum_{k=0}^{u} v_j e^{k\lambda T}(-1)^{s-j-kc-1}\frac{(-1)^{s-j-kc-1}}{(s-j-kc-1)!}]\}\ge 1-\theta \qquad (۲۴)$$

قبل از حل مدل مکان هابها و نرخ ورود ماشین های جمع آوری به آنها نامشخص است. مکان بهینه هاب‌ها توسط مقادیر متغیر Y_k مشخص می شود و برای نرخ ورود هم می‌توان نوشت:

$$\lambda_k = \sum_i \sum_j \sum_k a_{ij} W_{ijk} \qquad (۲۵)$$

در معادله (۲۵)، a_{ij} متوسط تعداد ماشین‌های جمع‌آوری است که از طریق هاب k از گره i به j می روندکه برای ساعات اوج شلوغی معلوم است. شایان توجه است که ماشین های جمع آوری که به طور مستقیم از گره مبدا i به ایستگاه های انتقال می رسند، نرخ ورود به آنها را تشکیل می‌دهند.

اگر عبارت λ_k که در معادله (۲۵) آمده است، در رابطه (۲۴) جایگذاری شود، یک معادله غیر خطی و قطعی برای محدودیت مورد نظر به دست می آید. متاسفانه چنین چیزی ممکن نیست زیرا مقادیر v_i به صورت عددی و با شروع از یک نرخ ورود معلوم محاسبه می شوند. اما برای مقادیر $C \ge \lambda T$ سمت چپ معادله (۲۴) نسبت به λ نزولی است. به صورت شهودی می توان این مسئله را به این صورت توجیه کرد که نرخ P_s باید برای مقادیر بالاتر s افزایش و برای مقادیر پایین تر آن کاهش یابند. به عنوان یک مثال فرض کنید یک خدمت دهنده وجود دارد .اگر نرخ ورود صفر باشد ، مشخص است که P_0=۱ و رابطه (۲۴) نیز برقرار است . اگر نرخ ورود افزایش یابد P_0 کم می شود و P_s برای $S > 0$ افزایش می یابد . اگر نرخ ورود همینگونه به افزایش ادامه دهد احتمالات P_s با مقادیر کوچکتر S بیشتر کاهش می یابند تا اینکه دیگر معادله (۲۴) برقرار نباشد. به عبارت دیگر از آنجا که طرف چپ معادله (۲۴) همان طرف راست رابطه (۲۳) است ، نسبت به λ کاهشی است، و در نتیجه، باید یک محدوده پیوسته ای برای λ وجود داشته باشد که به صورت λ_{max} تعریف می شود و رابطه را برقرار نگاه دارد . علاوه براین λmax مقداری است که در آن رابطه (۲۴) به صورت تساوی برقرار است. به این ترتیب می توان نامساوی (۲۴) به صورت عددی برحسب λ حل کرد و مقدار λmax را به دست آورد که با به دست آوردن هر مقدار λ کوچکتر از آن رابطه (۲۴) را ارضا خواهد کرد یعنی اینکه نامعادله (۲۴) معادل با λmax است یا اینکه ، با استفاده از رابطه (۲۵)، اگر مقدار λmax برای هر گره k معلوم باشد، معادل رابطه زیر خواهد بود :

$$\sum_i \sum_j \sum_k a_{ij} W_{ijk} \le \lambda_{\max,k} \qquad (۲۶)$$

معادله (۲۶) خطی و قطعی و معادل محدودیت (۹) می‌باشد.

مطالعه موردی

در حال حاضر شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ده میلیون نفر، روزانه بیش از ۷۰۰۰ تن پسماند تولیدی دارد که نیازمند تدبیر مدیریتی مبتنی بر اصول مهندسی می باشد. شهر تهران طبق آخرین تقسیم بندی شهری، به ۲۲ منطقه تقسیم شده است . اکثر پسماند شهر تهران مربوط به پسماند شهری مناطق با میانگین ۲۳۴۰۰۳۱۰۴۸ کیلوگرم می‌باشد که این میزان نیز در فصول مختلف سال و ایام خاص مانند سال نو تغییر می‌یابد. جمع‌آوری پسماند از سطح مناطق معمولا توسط خودروهای متفاوتی صورت می‌پذیرد. با اجرا و توسعه عملیات مکانیزاسیون خدمات شهری در سطح شهر تهران، پسماندها در مخازن مخصوص خودروهای مکانیزه جمع آوری می شوند و پس از تکمیل ظرفیت به مرکز دفن یا ایستگاه انتقال مربوطه منتقل می‌گردد.

وضعیت ایستگاه‌های انتقال در حال حاضر در تهران به گونه ای است که در ابتدای ورودی ایستگاه، واحد توزین ماشین‌آلات جمع‌آوری نصب شده است. در این واحد وزن پسماند ورودی تعیین و با استفاده از سیستم نرم افزاری در اسناد مربوطه ثبت می‌گردد. عملیات توزین با قرار گرفتن

ماشین روی واحد توزین شروع می شود و پس از اخذ اطلاعات آن، وزن محاسبه شده به پلاک آن ماشین در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار اختصاص داده می‌شود. بدین ترتیب آمار فعالیت هر ماشین شامل تعداد سرویس روزانه، وزن محموله آن و ساعات ورود به ایستگاه به همراه اطلاعات عمومی همچون نام پیمانکار مربوطه و نوع ماشین در اسناد ثبت می‌گردد. ماشین‌آلات جمع‌آوری سپس به سمت بخش فوقانی سکوی انتقال حرکت می کنند و با فشرده کردن یا تخلیه مکانیزه، محتویات خود را از طریق لبه‌های ابرویی، در داخل سمی تریلرها تخلیه می‌نمایند.

اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از طریق بانک کتاب و مقالات تخصصی سازمان مدیریت پسماند، کتابخانه های دیجیتال، مقالات کنفرانسی و مجله‌ها، کتب علمی معتبر، پایگاه های داده رسمی، پایان‌نامه های مرتبط با مکانیابی تسهیلات و مصاحبه حضوری با کارشناسان مرتبط در سازمانهای ذیربط از جمله سازمان مدیریت پسماند تهران و شهرداری منطقه ۸ تهران جمع آوری شده است.

در شهر تهران تنها مرکز دفن پسماند، آرادکوه بوده و تعداد تسهیلات انتقال فعلی ۱۱ می باشد که با توجه به گسترش جمعیت و نیازهای آتی، پس از بررسی‌های مربوطه و با استفاده از نظر خبرگان سه منطقه خزانه، جوادیه و مهرآباد به عنوان نقاط بالقوه برای تسهیلات انتقال و دو منطقه اندیشه و قلعه‌نو نقاط بالقوه دفن پیشنهاد شده‌اند. اطلاعات به دست آمده در مورد میزان پسماند تولیدی مشتریان مناطق ۲۲ گانه تهران بر اساس کیلوگرم در هر روز و در هر سناریو و فاصله آنها تا نقاط بالقوه برای احداث محل دفن و هاب بر حسب کیلومتر از طریق حمل جاده‌ای در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد. به طور مشابه، اطلاعات مربوط به نقاط بالقوه برای احداث مرکز دفن و تسهیل هاب در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به هر منطقه شهری در جدول ۳ گردآوری شده است.

جدول ۳ اطلاعات مربوط به نقاط بالقوه برای احداث هاب

هاب	فاصله تا محل دفن ۱ (قلعه نو)	فاصله تا محل دفن ۲ (اندیشه)
۱- جوادیه	۲۸,۱	۵۰,۳
۲- مهر آباد	۳۹,۳	۳۸,۳
۳- خزانه	۴۳,۲	۴۳,۸

در این پژوهش، مطالعه مشاهده ای در چندین ایستگاه انتقال پسماند صورت گرفته است و مشخصه های صف از جمله طول صف، زمان انتظار، زمان خدمت دهی و نحوه ورود مشخص شده اند و بر اساس آن رفتار صف با تابع توزیع ورود پواسون و تابع توزیع خدمت دهی نمایی انطباق یافته است.

با توجه به بررسی های به عمل آمده در خصوص نحوه ورود و خدمت دهی وسایل نقلیه در جایگاه، مدل نمایی انتخاب گردیده است تا بر اساس مطالعه میدانی و برداشت آمار و اطلاعات پارامترهای صف، فرضیات و نتایج آن با عملکرد واقعی صف در جایگاه ها مورد مقایسه قرار گیرد. در بازدیدهای مقدماتی، ایستگاه های بنی هاشم، حکیمیه، هرندی و دارآباد به علت ویژگی های هندسی، جغرافیایی، ترافیکی و عملکردی مورد توجه قرار گرفته اند و با توجه به نتایج این بررسی ها ایستگاه انتقال برای مطالعات بیشتر و برداشت آمار و اطلاعات انتخاب گردیده است. به علت موقعیت خاص قرارگیری این ایستگاه در شمال استان تهران، مسیر مورد بررسی از ترافیک نسبتاً سنگینی برخوردار است که شامل جمع آوری پسماندهای مناطق جمعیتی۱و ۶ می‌شود. نوع سیستم در این ایستگاه به صورت دستی است. در شکل۳ نمایی از محوطه این جایگاه ملاحظه می شود.

مشاهده رفتار ترافیک ورودی در تعیین مدل صف حائز اهمیت زیادی است. مسیر ورودی ایستگاه از دو خط تشکیل شده است و با توجه به اینکه ترافیک ورودی از سرعت نسبتاً زیادی برخوردار بوده و معمولاً در هر مسیر، چهار سکوی دریافت وجود دارد خودروهای ورودی با رعایت احتیاط ترجیح می دهند فقط یکی از دو سکوی پیش روی مسیر حرکتی خود را انتخاب کنند . این ویژگی رفتاری در انتخاب مدل مناسب صف حائز اهمیت است.

به طور کلی اطلاعات مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل صف زمان ورود خود روهای متوالی برای مشخص شدن تابع توزیع ورود، زمان خدمت دهی به خودروها برای مشخص شدن تابع توزیع سرویس دهی و همچنین طول صف و زمان انتظار را شامل می شوند که این اطلاعات بایستی به طور همزمان برداشت شوند. برای این منظور از ترکیب روش فیلمبرداری ویدئویی و آماربردار ی دستی استفاده شده است. به علت سرعت زیاد خودروها در محل ورود به سیستم صف، اندازه‌گیری زمان ورود با استفاده از فیلمبرداری ویدئویی و سپس بازبینی فیلم در محیط دفتری انجام شده است. سایر پارامترهای صف به صورت همزمان توسط تیم آماربردار مستقر در جایگاه برداشت و روی فرم‌های خاصی که به همین منظور تهیه شده است، ثبت گردیدند. به این ترتیب آمارگیری در سه روز کاری هفته و یک روز تعطیل آخر هفته و در ساعات ۹-۸ ، ۱۱-۱۲، ۱۳-۱۴ و ۱۵-۱۶ انجام شد تا طیف گسترده ای از شرایط مختلف صف در اختیار باشد. پس از پیاده کردن اطلاعات ضبط شده روی نوار ویدئویی کلیه فرمهای آماربرداری اعم ازآمارهای مربوط به روش دستی یا فیلمبرداری مورد بازبینی قرار گرفتند تا هر گونه خطا یا اشتباه کشف و رفع شود.

با توجه به مطالعات اولیه که یک مدل نمایی $M/M/C$ مناسب تشخیص داده شده بود سعی گردید که انطباق این مدل با شرایط موجود تجزیه و تحلیل گردد . بررسی رفتار رانندگان در انتخاب سکوها نشان داد که در بیش از ۹۰٪ موارد رانندگان یکی از دو سکوی پیش روی خود را انتخاب می کنند لذا با دقت قابل قبول مقدار $C = 2$ در نظر گرفته شد.

تحلیل عملکرد ایستگاه های انتقال پسماند به عنوان نقاط میانی سیستم جمع آوری پسماند، یک نیاز حیاتی برای طراحی و بهره برداری صحیح از

آنها است. مبانی نظری این تحلیل براساس مدل $M/M/2$ تئوری صف مورد بررسی دقیق قرار گرفت و توابع نمایی بر اطلاعات میدانی برداشت شده زمان خدمت و فاصله ورود برازش یافت. همچنین مقایسه مقادیر محاسبه شده براساس مدل $M/M/2$ و مشاهده شده پارامترهای صف شامل طول و زمان انتظار صف تفاوت چشمگیری را نشان نداد. نتایج مطالعه مشاهده ای ایستگاه های انتقال در این پژوهشنشان می‌دهد که می توان با اطمینان کافی از $M/M/2$ برای تحلیل ایستگاه های انتقال پسماند استفاده نمود.

نتایج حل و تجزیه و تحلیل مدیریتی

همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد، این مسئله دارای یک مدل چندهدفه می‌باشد و درنتیجه برای حل آن می‌توان از روش وزن‌دهی استفاده کرد. در این روش فرض می شود شرایط استقلال مطلوبیتی اهداف به گونه ای برقرار است که می‌توان جمع وزنی توابع هدف را به عنوان تقریبی از تابع مطلوبیت در نظر گرفت. در این مقاله برای وزن‌دهی اهداف از روش SMART استفاده شده است[۲۸]. این روش شامل مراحل زیر می باشد:

۱. ***رتبه بندی اهداف برحسب اهمیت آنها***
۲. ***اختصاص وزن ۱۰ به هدف با کمترین اهمیت***
۳. ***تخصیص وزن به سایر توابع هدف بر اساس اهمیت آنها نسبت به کم اهمیت ترین هدف مشخص شده با توجه به نظر تصمیم گیرندگان***
۴. ***اصلاح وزن ها در صورت صلاح دید تصمیم گیرندگان***
۵. ***نرمال کردن وزن‌ها به گونه ای که جمع آنها برابر با یک شود.***

بدین منظور، ابتدا باید توابع هدف را هم واحد نمود. از آنجا که تابع هدف دوم (TW) بدون واحد است، می‌توان تابع هدف اول (TTC) را مطابق معادله (۲۷) بی واحد نمود. در این معادله TTC^* مقدار بهینه تابع هدف اول می باشد که از حل مدل در حالت تک هدفه به دست آمده است.

$$TTC' = \frac{TTC^* - TTC}{TTC^*} \qquad (۲۷)$$

بعد از هم واحد شدن توابع هدف، وزن‌دهی به آنها صورت می گیرد . وزن اختصاص یافته به هر تابع هدف بصورت ضریبی در نظر گرفته می شود . از آنجا که در این مسئله توجه به مسائل زیست‌محیطی - اجتماعی از اهمیت بیشتری نسبت به بعد اقتصادی برخوردار است، تابع هدف دوم (TW) وزن بیشتری را نسبت به تابع هدف اول (TTC) در محاسبات به خود اختصاص می دهد. تابع هدف نهایی به صورت بیشینه سازی مجموع توابع هدف وزن دار شده نوشته می شود .

$$Max \quad Z = (0.7 \times TW) - (0.3 \times TTC') \qquad (۲۸)$$

با توجه به اهداف تحقیق، ابتدا عوامل و معیارهای مؤثر در مکان یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات خبرگان شناسایی شده‌اند. جدول۲ داده‌های مکانی جمع‌آوری شده نقاط بالقوه مورد مطالعه جهت احداث هاب را متناسب با معیارها نشان می‌دهد.

جدول ۴ معیارهای مطابق با سطوح چهارگانه BOCR و رتبه نقاط بالقوه در آنها

سطوح چهارگانه BOCR	معیار	رتبه هاب۱	رتبه هاب۲	رتبه هاب۳
منفعت	محافظت از تنوع زیستی	۰,۴۰	۰,۷۰	۰,۵۹
	دسترسی به مسیرهای مواصلاتی	۰,۹۰	۰,۸۰	۰,۵۱۷
	کاهش آلودگی ناشی از حمل و نقل	۰,۴۰	۰,۶۰	۰,۶۰
	نزدیکی به مناطق تولید پسماند	۰,۸۰	۰,۶۰	۰,۴۵
	دسترسی به نیروی کار	۰,۹۰	۰,۸۰	۰,۴۵
	دوری از مناطق مسکونی	۰,۴۰	۰,۸۰	۰,۶۸
	دوری از چاه های زیر زمینی	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۸۲
فرصت	منافع حاصل از بازیافت	۰,۸۰	۰,۸۰	۰,۶۱
	مشوق های دولتی	۰,۹۰	۰,۶۰	۰,۵۵
	توسعه	۰,۸۰	۰,۷۰	۰,۸۲
هزینه	استفاده از منابع	۰,۶۰	۰,۵۰	۰,۹۲
	آلودگی (صوتی، دیداری، شنیداری و غیره)	۰,۴۰	۰,۸۰	۰,۶۷
	اثر بر سلامت افراد منطقه	۰,۵۰	۰,۷۰	۰,۸۰
	مشکلات ترافیکی حاصل از احداث هاب	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۷۳
ریسک	آمایش زمین	۰,۷۰	۰,۶۰	۰,۷۷
	اسیدی‌سازی زمین و آلودگی آب و خاک	۰,۷۰	۰,۸۰	۰,۸۱
	گازهای حاصل از پسماند	۰,۶۰	۰,۷۰	۰,۶۳
	تصویر عمومی	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۷۱
	مقاومت اجتماعی	۰,۶۰	۰,۹۰	۰,۸۲
	کاربری اراضی	۰,۶۰	۰,۷۰	۰,۸۶
	جمع کل	۰,۶۴	۰,۷۳	۰,۶۹

کدنویسی مدل فوق در نرم‌افزار گمز صورت گرفته است. پس از حل مدل به روش وزن‌دهی، از بین نقاط دفن بالقوه نقطه شماره۱ (منطقه قلعه نو) و از میان سه مکان بالقوه برای احداث تسهیلات انتقال نقطه شماره ۲ (منطقه مهرآباد) به عنوان نقاط بهینه انتخاب شده اند. از نتایج به دست آمده

مشاهده می‌شود که با وجود کمتر بودن فاصله ایستگاه انتقال شماره ۱ (منطقه جوادیه) و ایستگاه انتقال شماره ۳ (منطقه خزانه) تا مناطق ۲۲ گانه ایستگاه انتقال شماره ۲ (منطقه مهرآباد) توسط مدل به عنوان مکان بهینه انتخاب شده است. منطقی نتایج فوق این است که وزن معیارهای زیست محیطی – اجتماعی هاب ۲ بیشتر از سایر هاب ها است و در تابع هدف وزن دهی شده، وزن بیشتری به تابع هدف دوم اختصاص یافته است. درنتیجه حداکثر کردن امتیاز معیارهای زیست محیطی- اجتماعی اولویت بالاتری دارد و با توجه به شرایط مناطق نتیجه حاصل مورد تایید می-باشد.

نتیجه گیری

پیدایش کلان شهرها و متعاقب آن افزایش میزان پسماندهای شهری، علاوه بر افزودن مشکلات شهری، تهدیدی جدی برای محیط زیست و بهداشت افراد جامعه می باشند. از مهم ترین مسائل در مدیریت پسماند ، به حداقل رساندن هزینهٔ خدمات و کاهش آلودگی های زیست محیطی است. در این زمینه ظهور تسهیلات انتقال پسماند در سیستم جمع آوری پسماند، کارایی مدیریت پسماند را بهبود بخشیده است و جمع آوری پسماند را از محل تولید تا محل دفع ساماندهی می کند. ایستگاه انتقال پسماند در صورتی کارایی کافی دارد که به خوبی مکان یابی شده باشد. گروه هایی که بر مکان یابی تسهیلات پسماند کار می کنند به دو گروه تصمیم گیرندگان که مکانیابی واقعی تسهیلات را انجام می دهند و محققان که مسئله را از دیدگاه آکادمیک مطالعه می کنند، تقسیم می شوند [۲۹]، [۳۰].

به طور کلی، تصمیمات راجع به تسهیلات ناخوشایند عمومی درمقایسه با سایر تصمیمات مکان یابی ویژگی های منحصر به فردی دارند. تصمیم گیری در مسائل مربوط به مکان یابی، از جمله تصمیمات بلندمدت و راهبردی محسوب می شود چرا که اکثر این تسهیلات برای مدت زمان بسیار زیادی ساخته می شوند و اثرات این تصمیمات تا سالها ادامه دارد. اگرچه تصمیم گیری واقعی درباره مکانیابی تسهیلات پسماند توسط مسئولین اجرایی و شهرداری ها انجام می شود، مکانیابی توسط محققین می تواند آنها را در این راستا کمک نماید. [۳۱]، [۳۲]

در مکانیابی تسهیلات ناخوشایند اغلب ذینفعان قدرتمند زیادی در کنار عده کثیری از تصمیم گیرندگان با اهداف مختلف وجود دارند. این ذینفعان شامل عموم مردم، کارکنان تسهیلات مربوطه ، سازمان های ذیربط هستند. در حالی که تصمیم گیرندگان شامل شهرداری ها، شرکت های مشاور و مراجع قانونی می باشند که مکانیابی واقعی تسهیلات را انجام می دهند [۳۳].

در سالهای اخیر روند جدید حرکت از تعداد زیادی مراکز دفن کوچک به شمار کمی از مراکز دفن بزرگ و دور افتاده پیش گرفته شده است. ضرورت استفاده از تسهیلات انتقال، زمانی احساس میگردد که انباشت غیر بهداشتی پسماند در سطح شهر و در حجم بالا مشاهده گردد، فاصله نسبتاً زیادی بین محل دفن و محدوده جمع آوری وجود داشته باشد و ماشین آلات ویژه جمع آوری ظرفیت کمی داشته باشند. در مجموع میتوان هدف از انتقال پسماند را انتقال حجم زیادی از پسماندها به وسیله ماشین آلات با ظرفیت بزرگتر و در مسافت های طولانی تر بیان نمود که ارزان تر از انتقال آن با ماشین آلات با ظرفیت پایین، در همان مسافت طولانی است. زمانی که فاصله نقاط دفن یا پردازش تا نقاط جمع آوری زیاد باشد، حمل و نقل متداول جاده ای به تنهایی امکان پذیر نبوده و استفاده از ایستگاه انتقال به منظور ایجاد پل ارتباطی بین سامانه جمع آوری و سامانه پردازش یا دفن به عنوان یک ضرورت مطرح میشود. این مسئله در مجموع هزینه های حمل و نقل را به نحو چشمگیری کاهش داده و انتقال پسماند را آسان تر می نماید. این تحقیق با شناسایی عوامل مؤثر در تعیین مکان مناسب ایستگاه های انتقال پسماند، مدیران و برنامه‌ریزان شهری را در شناسایی و انتخاب مکان‌های مستعد استقرار این ایستگاه‌ها یاری می‌رساند. نکتهٔ مهم در این تحقیق اهمیت دقت در تعیین وزن های مربوط به هر یک از معیارهاست که نقش مهمی در نتایج کار دارد.

این مقاله به مکانیابی تسهیلات انتقال و دفن پسماند پرداخته است. ایستگاه‌های انتقال مراکزی شبیه هاب هستند که باعث کاهش هزینه‌های حمل پسماند به مناطق دفن می‌شوند.در این پژوهش که به طور خاص به مطالعه شهر تهران پرداخته است، فرض شده است که پسماندهای شهری به مرکز مناطق ۲۲ گانه تهران فرستاده می‌شوند. سپس با توجه به وزن پسماند و فاصله، درصدی از پسماندها مستقیما به مراکز دفن فرستاده می-شوند و مابقی ابتدا به تسهیلات انتقال ارسال می‌گردند و پس از تخلیه و بارگیری به مراکز دفن حمل می‌شوند. سه نقطه بالقوه برای هاب و دو نقطه بالقوه جهت مرکز دفن پیشنهاد شده است. در رویکرد جدید مدل برای مکانیابی نقاط هاب و مراکز دفن علاوه بر هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها، تابع هدف دیگری نیز برای بیشینه کردن امتیاز معیارهای زیست محیطی و اجتماعی تعریف شده است. همچنین برای هر یک از نقاط انتقال بالقوه معیارهای اجتماعی و زیست محیطی با استفاده از سطوح چهارگانه منفعت، فرصت، هزینه و ریسک تعیین شده و رتبه‌بندی با رویکرد سلسله مراتبی انجام شده است.

برای حل این مدل چند هدفه از وزن دهی توابع هدف استفاده شده است که اولویت بیشتری را به تابع هدف دوم اختصاص داده که نتایج حاصل از حل مدل، ایستگاه شماره (۲) را ایستگاه انتقال منتخب، مرکز دفن شماره ۱ را مرکز دفن منتخب نشان می دهند و با وجود اینکه هاب۱ و ۳ به مناطق مختلف شهری و مراکز دفن بالقوه نزدیکتر می‌باشد، مدل هاب۲ را به عنوان ایستگاه انتقال بهینه انتخاب می‌کند زیرا این نقطه وزن بیشتری برای معیارهای زیست محیطی و اجتماعی دارد. در نتیجه منطقه مهرآباد به عنوان هاب بهینه و منطقه قلعه نو به عنوان نقطه دفن بهینه انتخاب شده اند. با انتخاب این مکان‌ها علاوه بر تحقق اهداف اقتصادی و اجتماعی، از ایجاد صفوف طولانی وسایل جمع‌آوری پسماند جهت تخلیه بار و در نتیجه بروز شکایات مردمی پیرامون ایجاد ترافیک و آلودگی صوتی و محیطی نیز جلوگیری می‌شود.

در زمینه کاربردهای نظری این پژوهش می توان گفت، با وجود مقالات متعدد در زمینه مکانیابی تسهیلات هاب، هنوز شکاف های تحقیقاتی زیادی در این زمینه دیده می شود. لذا، لحاظ کردن جنبه های مختلف پایداری در مدلسازی و در نظر گرفتن عدم قطعیت های دنیای واقعی توسعه ای بر

مدل های موجود می باشد.

علاوه بر این، شیو ۀ ترکیب شاخص های تأثیر گذار در انتخاب مکان های مناسب ایستگاه های انتقال پسماند نیز نکتۀ مهم دیگری است که برای دستیابی به نتایج دقیق تر باید در نظر گرفته شود. تکنیک به کار گرفته شده در این تحقیق از ساده ترین تکنیک های ترکیب است که با توجه به ارزیابی های صورت گرفته از نتایج تحقیق دقت قابل قبولی را ارائه داده است. برای نیل به نتایج بهتر لازم است که این تحقیق با تکنیک های دیگر ترکیب معیارها آزموده شود و با یکدیگر مقایسه شوند تا امکان تصمیم گیری مناسب تری برای این موضوع پدید آید. همچنین، در این پژوهش از روش حل وزن دهی توابع هدف استفاده شده است و پیشنهاد می شود که مدل پیشنهادی با سایر روش های حل مسائل بهینه سازی چندهدفه حل شده و نتایج حاصل مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گیرند.جهت تعیین بهترین مکان جهت تسهیلات مرتبط با پسماند علاوه بر عوامل در نظر گرفته شده در این پژوهش می بایست موارد دیگری را نیز مد نظر قرار داد.

تولید و نشت شیرابه یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی در تسهیلات مرتبط با پسماند است که منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی لذا ضروری است تا پیش‌بینی انتقال و حرکت آلاینده‌ها در این تسهیلات به لایه‌های زیرین در تصمیم‌گیری های مربوط لحاظ شود.

همچنین، تولید پسماند بدون بازیافت مواد و انرژی موجب از دست دادن منابع طبیعی می‌شود و استحصال انرژی علاوه بر تامین انرژی، مشکلات محیطی ناشی از تولید پسماند را کاهش می‌دهد. لذا تحلیل اثرات وارد ساختن سامانه های استحصال انرژی به شبکه جمع آوری و انتقال پسماند و مطالعه میزان انرژی تولیدی از سوزاندن پسماندهای شهری در سناریوهای مختلف جهت مطالعات آتی پیشنهاد می گردد.

امید است که پژوهش حاضر مقدمه ای بر مطالعات آتی دانشگاهی و بررسی جوانب دیگری از موضوع و عدم قطعیت های موجود در آن باشد و دید بهتری به سازمانها، موسسات یا شرکت های خصوصی فعال در زمینه مدیریت پسماند برای بهینه سازی فعالیت های خود بدهد و شهرداری-ها و برنامه‌ریزان استراتژیک حوزه مکان‌یابی ایستگاه های انتقال پسماند جهت کاهش اثرات زیست محیطی و اجتماعی تصمیمات حاصله یاری نماید.

جدول ۵ اطلاعات لازم مربوط به هر منطقه شهری

منطقه شهری	فاصله هر منطقه تا هاب ۱	فاصله هر منطقه تا هاب ۲	فاصله هر منطقه تا هاب ۳	فاصله هر منطقه تا محل دفن ۱	فاصله هر منطقه تا محل دفن ۲	میزان پسماند در سناریو ۱	میزان پسماند در سناریو ۲
۱	۱۶,۵	۲۱,۹	۲۴,۲	۳۳,۵	۶۶	۲,۶۶۸,۵۹	۴,۲۶۹,۷۴
۲	۱۵,۳	۱۳,۵	۱۸,۵	۲۸,۳	۴۶	۳,۷۶۵,۹۷	۶,۰۲۵,۵۵
۳	۲۰	۱۹,۹	۲۱,۱	۳۰,۵	۶۴,۷	۱,۶۳۲,۸۶	۲,۵۹۶,۵۷
۴	۱۹,۵	۲۷	۲۵,۷	۲۹,۶	۷۵,۱	۷,۱۴۷,۳۱	۱۱,۴۳۵,۶۹
۵	۹,۴	۸,۸	۱۳,۲	۱۸,۶	۴۷,۹	۲,۹۰۲,۳۷	۴,۶۴۳,۷۹
۶	۳,۶	۹,۱	۷,۷	۱۹,۱	۵۱,۸	۱,۱۶۸,۲۹	۱,۸۶۹,۲۶
۷	۵,۷	۱۲,۱	۱۸,۶	۲۶,۶	۶۲,۱	۸۰۵,۶۸	۱,۲۸۹,۰۸
۸	۱۳,۸	۲۳,۵	۲۵,۲	۳۰,۹	۶۶,۳	۱,۰۲۶,۸۹	۱,۶۴۳,۰۳
۹	۷,۸	۰	۱۱,۸	۱۶,۵	۳۹,۹	۱۵۰,۴۴	۲۴۰,۷۰
۱۰	۳,۷	۱۱,۸	۹,۹	۱۹,۲	۴۴,۳	۵۲۶,۵۰	۸۴۲,۴۰
۱۱	۲,۸	۷,۲	۵,۳	۱۶,۷	۴۲,۷	۴۳۰,۹۸	۶۸۹,۵۷
۱۲	۴,۱	۱۱,۹	۵,۱	۱۶,۴	۵۷,۷	۸۹۲,۵۸	۱,۴۲۸,۱۲
۱۳	۸,۸	۱۴,۸	۱۷,۹	۲۲,۴	۶۴,۹	۳۹۴,۲۵	۶۳۰,۸۰
۱۴	۱۰,۲	۱۵,۸	۱۹,۲	۲۳,۹	۶۲,۱	۸۵۲,۸۴	۱,۳۶۴,۵۴
۱۵	۱۶,۶	۲۴,۲	۱۴	۱۷,۶	۵۱,۱	۲,۱۲۸,۸۶	۳,۴۲۲,۱۷
۱۶	۱۰,۳	۲۱,۶	۰	۱۳,۷	۶۱,۳	۴۴۳,۳۱	۷۰۹,۲۹
۱۷	۸	۹	۴,۱	۱۱,۵	۵۷,۳	۳۲۱,۷۰	۵۱۴,۷۲
۱۸	۱۳,۳	۹,۵	۱۳,۱	۱۱,۳	۴۲,۱	۶۶۱,۷۷	۱,۰۵۸,۸۳
۱۹	۱۲,۷	۱۰,۴	۷	۸,۱	۴۶,۶	۳۷۰,۹۲	۵۹۳,۴۷
۲۰	۱۷,۱	۲۰,۶	۱۱,۳	۱۳,۹	۵۴,۸	۱,۲۹۶,۷۸	۲,۰۷۴,۸۴
۲۱	۱۵,۴	۹,۲	۱۴,۱	۲۴,۶	۳۱,۴	۳۴۰,۵۹	۵۴۴,۹۵
۲۲	۲۶,۹	۲۲,۵	۲۲,۱	۳۶,۷	۲۴,۹	۱۹۲,۳۸	۳۰۷,۸۱

منابع

[۱] *Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. Waste management, 33(1), 220-232.*

[۲] *Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., & Tjandra, S. A. (2008). A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. European Journal of Operational Research, 187(3), 1402-1421.*

[۳] *Berman, Drezner, and Wesolowsky .(۲۰۰۷) .The transfer point location problem .European Journal of Operational Research*

[۴] *Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. Waste management, 31(9), 1960-1972.*

[۵] *Mohammadi, M., Jolai, F., & Rostami, H. (2011). An M/M/c queue model for hub covering location problem. Mathematical and Computer Modelling, 54(11), 2623-2638.*

[۶] *Marianov, V., & Serra, D. (2003). Location models for airline hubs behaving as M/D/c queues. Computers & Operations Research, 30(7), 983-1003.*

[۷] *Li, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., & Nie, S. L. (2008). An integrated two-stage optimization model for the development of long-term waste-management strategies. Science of the total environment, 392(2), 175-186.*

[۸] *Gu ̈lfem Tuzkaya, S. O .(۲۰۰۸) .An analytic network process approach for locating undesirable facilities .Journal of Environmental Management. ۹۸۳–۹۷۰ ,*

[۹] مواد زائد جامد نویسنده . قاسمعلی عمرانی/۱۳۷۶/ مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.

[۱۰] *Campbell .(۲۰۰۹) .Hub location for time definite transportation .Computers and Operation Research.*

[۱۱] *Eiselt, H .(۲۰۰۷) .Locating landfills—Optimization vs. reality .European Journal of Operational Research.*

[۱۲] *Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L., & Alçada-Almeida, L. (2012). A bi-objective modeling approach applied to an urban semi-desirable facility location problem. European Journal of Operational Research, 223(1), 203-213.*

[۱۳] *Chou .(۲۰۱۰) .Application of FMCDM model to selecting the hub location in the marine transportation: A case study in southeastern Asia .Mathematical and Computer Modeling.*

[۱۴] *Gelareh and Pisinger .(۲۰۱۱) . Fleet deployment, network design and hub location of liner shipping companies . . Transportation Research.*

[۱۵] *Ishfaq and Sox .(۲۰۱۲) .Design of intermodal logistics networks with hub delays .European Journal of Operational Research.*

[۱۶] *Karimi and Bashiri .(۲۰۱۱) .Hub covering location problems with different coverage types .Scientia Iranica.*

[۱۷] *Eiselt, H. A., & Marianov, V. (2014). A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid waste. European Journal of Operational Research, 235(1), 187-194*

[۱۸] *Costa, Lohmann, and Oliveira .(۲۰۱۰) . A model to identify airport hubs and their importance to tourism in Brazil . Research in Transportation Economics.*

[۱۹] *Alçada-Almeida, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Current, J. (2009). A multiobjective modeling approach to locating incinerators. Socio-Economic Planning Sciences, 43(2), 111-120.*

[۲۰] *Hsu, P.-F .(۲۰۱۰) .Applying the ANP Model for Selecting the Optimal Location for an International Business Office Center in China .Asia Pacific Management Review. ٤١-٢٧ ,*

[۲۱] *multi-objective invasive weed optimization for stochastic green hub location .(۲۰۱٤) .Mehrdad Mohammadi, R. T.-M .routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries*

[۲۲] *Location models for airline hubs behaving as M/D/c queues.(۲۰۰۳) Marianov, V., & Serra, D,. Computers and Operations Research, 30, 983–1003.*

[۲۳] *Nickel, Gelareh and .(۲۰۰۷) .A benders decomposition for hub location problems arising in public transport . Operations Research Proceedings.*

[۲۴] نظریه صف نویسندگان . فریبرز جولای ، علیرضا شامخی امیری/ ۱۳۹۰/ انتشارات کاوش قلم

[۲۵] مبانی شبیه سازی سیستم ها نویسنده. نظام الدین فقیه/ ۱۳۷۸/ انتشارات دانشگاه شیراز

[۲۶] *Mersky, R. L. (2009). Verification of exponential distribution of arrival and service times at municipal solid waste facilities. Journal of Material Cycles and Waste Management, 11(4), 321-327.*

[۲۷] *Applying the ANP Model for Selecting the Optimal Location for an International Business Office .(۲۰۱۰) .Hsu, P.-F .٤١-٢٧ ,Asia Pacific Management Review .Center in China*

[۲۸] *Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. European Journal of Operational Research, 202(1), 16-24.*

[۲۹] *Eiselt, H. A., & Marianov, V. (2014). Location modeling for municipal solid waste facilities. Computers & Operations Research.*

[۳۰] *Eskandari, M., Homaee, M., & Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. Waste management, 32(8), 1528-1538.*

[۳۱] *Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. Waste management, 31(9), 1960-1972.*

[۳۲] *Chatzouridis, C., & Komilis, D. (2012). A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. Resources, Conservation and Recycling, 60, 89-98.*

[۳۳] *Komilis, D. P. (2008). Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. Waste management, 28(11), 2355-2365.*

پی نوشت

[1] *Hub Facilities*
[2] *Hubbing Effect*
[3] *Geographic Information System*
[4] *Multi Criteria Decision Making*
[5] *Lam*
[6] *Ueda*
[7] *Tanaka*
[8] *Fragnelli*
[9] *Landolino*
[10] *Agrawal*
[11] *Humphries*
[12] *Everett and Applegate*
[13] *Serra and Marianov*
[14] *Input Process*
[15] *Queue Discipline*
[16] *Service Mechanism*
[17] *Analytic Hierarchy Process (AHP)*
[18] *Steady State*