فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هجدهم، شماره۵۸، پاییز ۹۹
صفحات ۲۴۵-۲۱۵

حل مسأله مکان یابی-مسیریابی-موجودی شبکه‌ی جمع آوری زباله‌های خطرناک با در نظر گرفتن ناوگان حمل و نقل داخلی و خارجی

ندا معنوی‌زاده*، سروش آقامحمدی بوسجین، پریسا کریمی آشتیانی *****

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۱۷- تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۱۱

چکیده

این پژوهش به طراحی شبکه‌ی جمع آوری زباله‌های خطرناک پرداخته و برای انجام این کار از مفاهیم مکانیابی، مسیریابی، موجودی و زنجیره‌ی لجستیک معکوس استفاده شده است. موارد مربوط به ریسک احداث مراکز و حمل مواد به عنوان پارامترهای اجتماعی در این پژوهش به عنوان یک تابع هدف جداگانه در کنار تابع هدف اقتصادی، در نظر گرفته شده است. مسأله مورد نظر در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با دو تابع هدف فرموله شده است. در نظر گرفتن سیاست موجودی با استفاده از تسهیلات موجود، و محدودیت های زمانی ارسال و ظرفیت وسایل سیستم حمل نقل از جمله ویژگی‌های دیگر مدل میباشد. با توجه به پیچیدگی محاسباتی مدل ارائه شده، برای حل این مدل از دو الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و MOPSO استفاده شده است و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. طبق نتایج، روش NSGA-II عملکرد بهتری را در هر چهار شاخص فاصله گذاری، فاصله از آرمان و بیشترین گسترش نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که زمان حل این روش به طور متوسط ۶٪ کمتر از روش حل رقیب می‌باشد. طبق نتایج حاصل از تحلیل حساسیت، هزینه‌های سیستم به ازای در نظر گرفتن ناوگان خارجی تغییرات بیشتری را نسبت به استفاده از ناوگان داخلی، از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: لجستیک معکوس، مدیریت پسماند خطرناک، مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی، بهینه‌سازی چند هدفه، روش‌های فراابتکاری

* استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خاتم ،تهران، ایران (نویسنده مسئول) n.manavi@khatam.ac.ir
** دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران
*** دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه خاتم، گروه مهندسی صنایع، تهران ، ایران

مقدمه

طی چند دهه اخیر، با توجه به روند رشد سریع تکنولوژی و به تبع آن ایجاد رقابت مابین شرکت‌ها که ناشی از افزایش سطح انتظار مشتریان و آغاز جهانی سازی است، شرکت‌ها و سازمان‌ها بر آن شدند تا علاوه بر تمرکز به فعالیت‌های درون سازمانی خود، زنجیره تأمینی کارآمد[1] را جهت افزایش همکاری خود با دیگر شرکت‌ها و سازمان‌ها ایجاد نمایند. لجستیک معکوس به دنبال بررسی و مدیریت جریان‌های معکوس یا به عبارتی جریان‌های رو به عقب در زنجیره‌های تأمین است. یکی از کابردهای اصلی لجستیک معکوس، مدیریت پسماندها و مواد زائد است. مدیریت پسماند، صنعتی مهم و در حال رشد است. در هر جامعه سلامت ملی، محیط زیست و رفاه اقتصادی از عوامل دارای اهمیت است. زباله‌های خطرناک به آن دسته از زباله‌هایی اطلاق می‌شود که به عنوان موادی که کاربردی ندارند، می‌توانند برای محیط زیست آسیب رسان باشندبا توجه به مقاله آلومور و کارا (۲۰۰۷) ، یک پسماند در صورت دارا بودن مشخصه‌هایی از قبیل قابلیت اشتعال، خورندگی، واکنش پذیری و سمیت زیان‌بار به شمار می‌آید. فیلد و اسروف (۲۰۰۷) و همچنین بوعامگارتن (۲۰۰۴) اهمیت بازیافت صحیح و کارای زباله‌ها و استفاده مجدد آنها در مراکز تولیدی و لجستیکی را متذکر شده‌اند. هیکس و همکارانش(۲۰۰۴) اظهار داشته‌اند که مدیریت صحیح و کارای زباله‌ها می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ها و ایجاد زنجیره تامین جدیدی می‌شود که بازیافت مواد و استفاده مجدد از آنها را موجب می‌گردد.

در این راستا، نوآوری‌های اصلی مقاله شامل موارد زیر میشود:

- ≠ تقسیم بندی سیستم حمل و نقل به داخلی و خارجی و بررسی اثر حمل نقل خارجی در ساختار سیستم.
- ≠ در نظر گرفتن زمان رسیدن وسایل نقلیه در سیستم حمل و نقل و محدودیت زمانی در سیستم
- ≠ دسته بندی زباله‌ها موجود در سیستم

1 .Efficient Supply Chain

≠ در نظر گرفتن سیستم موجودی در ساختار زنجیره تامین و محدودیت حمل و نقل

≠ در نظر گرفتن تابع هدف ریسک احداث مراکز بازیافت و بازبینی

≠ در نظر گرفتن مکان یابی- مسیریابی – موجودی در ساختار مدل به صورت یکپارچه به منظور نزدیک کردن مدل به شرایط واقعی.

مرور ادبیات

مساله‌ی مکان‌یابی مسیریابی جز مسائل ترکیبی می‌باشد که در حقیقت می‌توان آن را ترکیبی از مسائل مسیریابی، مکان‌یابی و تخصیص دانست. در این راستا تحقیقات زیادی ارائه گردیده که قسمتهای مختلف یک زنجیره تامین شامل مکان یابی، مسیر یابی و موجودی را مورد بررسی قرار داده‌اند (خانی و همکاران ۲۰۱۹، اعتباری و ترابی ۲۰۱۹، وحدانی و طاهروردی ۲۰۱۹، نوری هرزویلی و همکاران ۲۰۱۹). مساله مسیریابی در ابتدا بعنوان توسعه ای از مساله فروشنده دوره گرد[1] توسط دانتزینگ و رامسر[2] فرموله شد. یکی از مسائل پایه ای مسیریابی، مساله [3]ای است که در آن هر مشتری تقاضای مشخصی دارد که نشان دهنده مقدار محصولی است که باید جمع آوری یا تحویل داده شود. مسئله مسیریابی با حداکثر ظرفیت و حداکثر مسیر طی شده[4] در عمل کاربرد بیشتری نسبت به مسئله نوع قبلی دارد. مارتین رید و همکارانش (۲۰۱۴) یک سیستم کلونی مورچه‌ها[5] را با بهبود جست وجوی محلی ۲-opt برای حل مسائل CVRP در شبکه بازیافت و جمع آوری زباله پیشنهاد دادند. می‌توان گفت یافتن یک جواب موجه برای مسأله مسیربابی با پنجره زمانی، جزء مسائل از جنس سخت محسوب می‌شود (سالوسبرگ و سول، ۱۹۹۵). دکر و همکاران (۲۰۱۳) در تعریف از لجستیک معکوس این گونه بیان کردند " هماهنگی و کنترل کامل، بارگیری و تحویل فیزیکی مواد، قطعات و محصولات، از محل مصرف به محل عملیات و بازیابی یا دفع و سپس

1 .Travelling salesman problem) TSP(
2 .Dantzig and Ramser
3 .Capacitated vehicle routing problem
4 .Distance- Constrainted CVRP
5 .Ant colony system

بازگرداندن متعاقب به محل مصرف در موارد مناسب است". مساله مکان یابی مربوط به انتخاب مجموعه ای از نقاط کاندید برای استقرار تسهیلات است. جبار زاده و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل چند هدفه را برای طراحی سیستم مدیریت پسماند ایجاد کردند. مدل توسعه داده شده سعی در مینیمم کردن هزینه‌های کل، میزان انتشار گازهای گلخانه ای و مصرف انرژی به صورت همزمان دارد. برای رسیدن به این اهداف از روش حل برنامه ریزی فازی تعاملی[1] استفاده شده است. همچنین مدل توانایی تشخیص مکان ایستگاه‌های انتقال زباله را دارد. در مقاله توسط یاچی و همکاران (۲۰۱۶) مساله مکانیابی، مسیریابی و موجودی در طراحی شبکه لجستیک رو به جلو و معکوس اعمال می‌شود. در ادامه تحقیقات این دو پژوهشگر (دایابت و همکارش)، در سال ۲۰۱۷ مقاله ای در توسعه مقاله قبلی خود ارائه دادند. این بار برای حل مسأله مربوط به کالاهای فاسد شدنی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. رویکرد توسعه داده شده جواب‌هایی با کیفیت نزدیک به بهینه را ارائه می‌کند. این مدل یک مدل سه سطحی شامل تولید کننده، انبار و خرده فروش می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) در مدل پیشنهادی خود شبکه زنجیره تأمین دو سطحی را مدل سازی کردند که در آن تقاضا را به صورت قطعی اما متغیر در هر دوره فرض کردند. مدل مذکور یک مدل تک محصولی و ناوگان حمل و نقل در آن همگن در نظر گرفته شده است. این مسأله شامل چندین انبار ظرفیت دار بالقوه و مجموعه ای از مشتریان می‌باشد. هدف این مسأله مکان یابی انبارها، تعیین مقدار مناسب تحویل به مشتریان در هر دوره و همچنین تعیین توالی سرویس دهی به مشتریان می‌باشد تا در نهایت هزینه‌های شبکه را کمینه سازی کند. برای حل این مدل یک الگوریتم فراابتکاری ارائه شده است. کمال آبادی و همکاران(۲۰۱۷) یک مدل غیرخطی [2] حلقه بسته را پیشنهاد دادند که وسایل نقلیه ناهمگن، قیمت گذاری محصولات و هزینه‌های موجودی از مفروضات مدل آنها می‌باشد. هدف از ارائه این مدل مکان یابی مراکز جمع آوری، تعیین مسیر بین مراکز تولید، مشتریان و مراکز جمع آوری و همچنین تعیین مقدار سفارش دهی مراکز تولید می‌باشد. ژاله چیان و

1 .Interactive fuzzy programming
2 .location-routing-inventory problem

همکاران (۲۰۱۶) مدل چند هدفه ی پایدار حلقه بسته مکانیابی-مسیریابی-موجودی را پیشنهاد دادند که در آن تقاضا به صورت غیر قطعی و مدل به صو.رت چند محصولی در نظر گرفته شده است.

با مرور پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه مسائل مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی در مبحث مدیریت و جمع‌آوری پسماند مشاهده می‌شود که بخش زیادی از پژوهش‌های موجود در این حوزه این مسأله را بدون در نظر گرفتن موجودی در نظر گرفته اند. از این نظر در پژوهش حاضر، در نظر گرفتن این مسأله مورد توجه قرار گرفت و از آن بعنوان شکاف تحقیقاتی اصلی یاد شد. همچنین تلفیق ارسال مستقیم و سیستم فروشنده شیر[1] مساله دیگری است که مورد استفاده واقع شده است. در نهایت در بررسی روش‌های حل به دلیل پیچیدگی‌های بالای محاسباتی در حل دقیق مساله، از ترکیب نرم افزار گمز و الگوریتم فراابتکاری برای حل مساله استفاده شده است.

شرح مسئله

مفروضات مسئله:

به منظور تشریح مسئله پژوهش جاری، مفروضات مسئله بیان میگردد:

۱- در مدل بررسی شده چنین فرض شده است که چندین نوع پسماند خطرناک در شبکه وجود داشته و مدل چند دوره‌ای است.

۲- ظرفیت نگهداری پسماندها در مراکز اصلاح و بازبینی و نیز مراکز بازیافت به صورت محدود فرض شده است و نگهداری موجودی بیش از ظرفیت در این مراکز مجاز نیست.

۳- در شبکه جمع‌آوری پسماندها دو نوع سیستم حمل‌ونقل داخلی و خارجی در نظر گرفته شده است. در واقع در چنین فرض شده است که کامیون‌ها در طول مسیر

1 **Milk-Run**

پسماندها را جمع‌آوری کرده و به مراکز بازیافت و اصلاح و بازبینی تحویل می‌دهند.

٤- در سیستم حمل‌ونقل داخلی کامیون‌ها چنین فرض شده است که کامیون‌ها بعد از جمع‌آوری و تحویل پسماندها به گره آغاز سفر خود یعنی انبارها باز می‌گردند، اما در نقطه مقابل در سیستم حمل‌ونقل خارجی کامیون‌ها به نقطه آغازین سفر بازگشتی نخواهند داشت.

٥- ظرفیت نگهداری پسماندها در مراکز اصلاح و بازبینی و نیز مراکز بازیافت به صورت محدود فرض شده است و نگهداری موجودی بیش از ظرفیت در این مراکز مجاز نیست.

٦- در هر دوره زمانی، از ماشین‌های موجود فقط برای یک مسیر مشخص استفاده میشود و پس از آن به محل اولیه خود بر میگردند.

در این تحقیق مساله مسیریابی –موجودی معکوس[1] برای پسماندهای خطرناک توسعه داده می‌شود. یکی از کاربردهای اصلی مسائل مسیریابی موجودی با تعداد زیادی مشتری، تغییر پذیری در تقاضا[2] و افق برنامه ریزی طولانی مدت مربوط به مسائل جمع آوری پسماند است که تنها تفاوت آن با مسائل مسیریابی-موجودی متداول، جریان رو به عقب[3] است. در این راستا برای توسعه مدل از پژوهش ربانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ ایده گرفته شده است و یک مدل یکپارچه و سه سطحی توسعه داده شده است. در این مسئله فرضا بر آن است که زباله به دو دسته تقسیم میشوند که یک دسته باید دفن بشود و دسته دیگر قابلیت اصلاح و بازبینی دارد.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها:

a, a': مجموعه کلیه انبارها

b, b': مجموعه کلیه آژانس‌های خارجی

1iReverse inventory-routing
2 Demand Uncertainty
3 Reverse flows

c, c': مجموعه کلیه نقاط تولیدکننده زباله

k, k': مجموعه کلیه مراکز اصلاح و بازبینی

m, m': مجموعه کلیه مراکز بازیافت

n, n': مجموعه کلیه مراکز دفن

i, j: مجموعه کلیه گره‌ها شامل انبارها، آژانس‌های خارجی، نقاط تولید زباله، مراکز اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن

ii, jj: مجموعه کلیه گره‌ها شامل انبارها، نقاط تولید زباله، مراکز اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن

i', j': مجموعه کلیه گره‌ها شامل آژانس‌های خارجی، نقاط تولید زباله، مراکز اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن

w: مجموعه کلیه پسماندها

tr: مجموعه کلیه کامیون‌های درون شبکه‌ای

to: مجموعه کلیه کامیون‌های برون شبکه‌ای

tn: مجموعه کلیه کامیون‌هایی که به منظور حمل پسماندها مابین مراکز اصلاح، بازیافت و دفن استفاده می‌شوند

t: مجموعه کلیه دوره‌ها

پارامترها

M: یک عدد بسیار بزرگ

$Tra_{a,tr}$: برابر یک است اگر کامیون داخلی trام به انبار aام تعلق داشته باشد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$Trb_{b,to}$: برابر یک است اگر کامیون خارجی toام به آژانس bام تعلق داشته باشد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$LT_{tr,t}$: حداکثر زمان مجاز سفر برای وسیله حمل‌ونقل داخلی trام در دوره tام.

$LT'_{to,t}$: حداکثر زمان مجاز سفر برای وسیله حمل‌ونقل خارجی toام در دوره tام.

$CapV_{tr}$: ظرفیت حجمی کامیون trام.

Vo_w: حجم پسماند wام.

$Dc_{c,w,t}$: مقدار پسماند نوع w که توسط نقطه cام در دوره tام تولید می‌گردد.

$PDe_{c,w,t}$: درصد پسماند غیر قابل بازیافت نوع w که توسط گره cام در دوره tام تولید می‌گردد.

$PDb_{c,w,t}$: درصد پسماند قابل بازیافت نوع w که توسط گره cام در دوره tام تولید می‌گردد.

$PTk_{k,w,t}$: درصد پسماند نوع w که توسط مرکز بازبینی و اصلاح kام در دوره tام به مرکز بازیافت ارسال می‌گردد.

$PTm_{m,w,t}$: درصد پسماند نوع w که توسط مرکز بازیافت mام در دوره tام بازیافت نشده و به مرکز دفن ارسال می‌گردد.

$CapK_{k,w}$: ظرفیت بازبینی و اصلاح پسماند نوع w *توسط* مرکز بازبینی و اصلاح kام.

$CapM_{m,w}$: ظرفیت بازیافت پسماند نوع w *توسط* مرکز بازیافت mام.

$TT_{i,j,tr}$: زمان سفر از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل trام.

Ca_a: هزینه احداث انبار aام.

$CK_{k,w}$: هزینه احداث و استقرار مرکز بازبینی و اصلاح kام با تکنولوژی اصلاح و بازبینی مربوط به پسماند wام.

CM_m: هزینه احداث مرکز بازیافت mام.

CN_n: هزینه احداث مرکز دفن nام.

Ga_a: ریسک احداث انبار aام.

$GK_{k,w}$: ریسک احداث و استقرار مرکز بازبینی و اصلاح kام با تکنولوژی اصلاح و بازبینی مربوط به پسماند wام.

GM_m: ریسک احداث مرکز بازیافت mام.

GN_n: ریسک احداث مرکز دفن nام.

$Cae_{c,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی قابل اصلاح و بازبینی wام در مرکز تولید cام در دوره tام.

$Cab_{c,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی قابل بازیافت wام در مرکز تولید cام در دوره tام.

$Ck_{k,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی wام در انتظار اصلاح و بازبینی مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Ckb_{k,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی wام قابل بازیافت مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Ckd_{k,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی wام قابل دفن مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Cm_{m,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی wام در انتظار بازیافت در مرکز بازیافت mام در دوره tام.

$Cmd_{m,w,t}$: هزینه نگهداری موجودی wام قابل دفن در مرکز بازیافت mام در دوره tام.

FC_{tr}: هزینه ثابت استفاده از کامیون داخلی trام.

$VC_{i,j,tr}$: هزینه سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون داخلی trام.

$VC'_{i,j,to}$: هزینه سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون خارجی toام.

$VC''_{i,j,tn}$: هزینه سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون tnام.

$GC_{i,j,tr}$: ریسک سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون داخلی trام.

$GC'_{i,j,to}$: ریسک سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون خارجی toام.

$GC''_{i,j,tn}$: ریسک سفر از گره iام به گره jام با استفاده از کامیون tnام.

متغیرهای تصمیم

$X_{i,j,tr,t}$: برابر یک است اگر وسیله حمل‌ونقل داخلی trام، گره jام را بلافاصله بعد از گره iام در دوره tام بازدید نماید، در غیر این صورت برابر صفر است.

$Uv_{tr,t}$: برابر یک است اگر کامیون داخلی trام در دوره tام مورد استفاده قرار گرفته شده باشد.

$X'_{i,j,to,t}$: برابر یک است اگر وسیله حمل‌ونقل خارجی toام، گره jام را بلافاصله بعد از گره iام در دوره tام بازدید نماید، در غیر این صورت برابر صفر است.

EA_a: برابر یک است اگر انبار aام تاسیس گردد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$EK_{k,w}$: برابر یک است اگر مرکز بازبینی و اصلاح kام تاسیس شده و تکنولوژی اصلاح و بازبینی مربوط به پسماند wام در آن مستقر گردد، در غیر این صورت برابر صفر است.

EM_m: برابر یک است اگر مرکز بازیافت mام تاسیس گردد، در غیر این صورت برابر صفر است.

EN_n: برابر یک است اگر مرکز دفن nام تاسیس گردد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$NN_{i,j,w,t}$: برابر یک است اگر پسماند wام در دوره tام توسط سیستم حمل‌ونقل داخلی از گره iام به گره jام انتقال یابد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$NN'_{i,j,w,t}$: برابر یک است اگر پسماند wام در دوره tام توسط سیستم حمل‌ونقل خارجی از گره iام به گره jام انتقال یابد، در غیر این صورت برابر صفر است.

$MM_{i,to,t}$: برابر یک است اگر گره iام آخرین گره باشد که توسط وسیله حمل‌ونقل خارجی toام بازدید می‌گردد ، در غیر این صورت برابر صفر است.

$NV_{i,j,tn,t}$: تعداد وسیله حمل‌ونقل tnام که به منظور انتقال پسماندها از گره iام به گره jام به خدمت گرفته می‌شود.

$Iae_{c,w,t}$: مقدار موجودی قابل اصلاح و بازبینی پسماند نوع w در مرکز تولید cام در دوره tام.

$Iab_{c,w,t}$: مقدار موجودی قابل بازیافت پسماند نوع w در مرکز تولید cام در دوره tام.

$Ik_{k,w,t}$: مقدار موجودی پسماند نوع w در انتظار اصلاح و بازبینی مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Ikb_{k,w,t}$: مقدار موجودی پسماند نوع w قابل بازیافت مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Ikd_{k,w,t}$: مقدار موجودی پسماند نوع w قابل دفن مرکز اصلاح و بازبینی kام در دوره tام.

$Im_{m,w,t}$: مقدار موجودی پسماند نوع w در انتظار بازیافت در مرکز بازیافت mام در دوره tام.

$Imd_{m,w,t}$: مقدار موجودی پسماند نوع w قابل دفن در مرکز بازیافت mام در دوره tام.

$Se_{i,j,w,t}$: مقدار پسماند نوع w که از گره iام به گره jام در دوره tام می‌بایست انتقال یابد.

$Sen_{i,j,w,tr,t}$: مقدار پسماند wام که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل داخلی trام در دوره tام می‌بایست انتقال یابد.

$Sen'_{i,j,w,to,t}$: مقدار پسماند wام که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل toام در دوره tام می‌بایست انتقال یابد.

$Tk_{k,w,t}$: مقدار پسماند wام که در مرکز بازبینی و اصلاح kام در دوره tام بازبینی می‌گردد.

$TM_{m,w,t}$: مقدار پسماند wام که در مرکز بازیافت mام در دوره tام بازیافت می‌شود.

$Tim_{i,tr,t}$: زمان رسیدن کامیون داخلی trام به گره iام در دوره tام.

$Tim'_{i,to,t}$: زمان رسیدن کامیون خارجی toام به گره iام در دوره tام.

$Qb_{i,j,w,tr,t}$: مقدار پسماند بازیافتی نوع w که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل داخلی trام در دوره tام انتقال می‌یابد.

$Qe_{i,j,w,tr,t}$: مقدار پسماند اصلاحی نوع w که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل داخلی trام در دوره tام انتقال یابد.

$Qb'_{i,j,w,to,t}$: مقدار پسماند بازیافتی نوع w که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل خارجی toام در دوره tام انتقال می‌یابد.

$Qe'_{i,j,w,tr,t}$: مقدار پسماند اصلاحی نوع w که از گره iام به گره jام توسط وسیله حمل‌ونقل خارجی toام در دوره tام انتقال می‌یابد.

مدل ریاضی ارائه شده

$$
\begin{aligned}
ost = & \sum_{a} Ca_a \times EA_a + \sum_{k}\sum_{w} CK_{k,w} \times EK_{k,w} + \sum_{m} CM_m \times EM_m \\
& + \sum_{n} CN_n \times EN_n + \sum_{c}\sum_{w}\sum_{t} Cae_{c,w,t} \times Iae_{c,w,t} \\
& + \sum_{c}\sum_{w}\sum_{t} Cab_{c,w,t} \times Iab_{c,w,t} \\
& + \sum_{k}\sum_{w}\sum_{t} Ck_{k,w,t} \times Ik_{k,w,t} \\
& + \sum_{k}\sum_{w}\sum_{t} Ckb_{k,w,t} \times Ikb_{k,w,t} \\
& + \sum_{k}\sum_{w}\sum_{t} Ckd_{k,w,t} \times Ikd_{k,w,t} \\
& + \sum_{m}\sum_{w}\sum_{t} Cm_{m,w,t} \times Im_{m,w,t} \\
& + \sum_{m}\sum_{w}\sum_{t} Cmd_{m,w,t} \times Imd_{m,w,t} \\
& + \sum_{tr}\sum_{t} FC_{tr} \times Uv_{tr,t} \\
& + \sum_{ii}\sum_{jj}\sum_{tr}\sum_{t} VC_{ii,jj,tr} \times X_{ii,jj,tr,t} \\
& + \sum_{i'}\sum_{j'}\sum_{to}\sum_{t} VC'_{i',j',to} \times X'_{i',j',to,t} \\
& + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{tn}\sum_{t} VC''_{i,j,tn} \times NV_{i,j,tn,t}
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

$$Risk = \sum_{a} Ga_a \times EA_a + \sum_{k}\sum_{w} GK_{k,w} \times EK_{k,w} + \sum_{m} GM_m \times EM_m + \sum_{n} GN_n \times EN_n + \sum_{ii}\sum_{jj}\sum_{tr}\sum_{t} GC_{ii,jj,tr} \times X_{ii,jj,tr,t} + \sum_{i'}\sum_{j'}\sum_{to}\sum_{t} GC'_{i',j',to} \times X_{i',j',to,t} + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{tn}\sum_{t} GC''_{i,j,tn} \times NV_{i,j,tn,t} \quad (۲)$$

$$Iae_{c,w,t} = Iae_{c,w,t-۱} + PDe_{c,w,t} * Dc_{c,w,t} - \sum_{k}\sum_{tr} Sen_{c,k,w,tr,t} - \sum_{k}\sum_{to} Sen'_{c,k,w,to,t} \quad \forall\, c,w,t \quad (۳)$$

$$Iab_{c,w,t} = Iab_{c,w,t-۱} + PDb_{c,w,t} * Dc_{c,w,t} - \sum_{m}\sum_{tr} Sen_{c,m,w,tr,t} - \sum_{m}\sum_{to} Sen'_{c,m,w,to,t} \quad \forall\, c,w,t \quad (۴)$$

$$Ik_{k,w,t} = Ik_{k,w,t-۱} + \sum_{c}\sum_{tr} Sen_{c,k,w,tr,t} + \sum_{c}\sum_{to} Sen'_{c,k,w,to,t} - Tk_{k,w,t} \quad \forall\, k,w,t \quad (۵)$$

$$Tk_{k,w,t} \le Ik_{k,w,t-۱} \quad \forall\, k,w,t \quad (۶)$$

$$Ikb_{k,w,t} = Ikb_{k,w,t-۱} + PTk_{k,w,t} * Tk_{k,w,t} - \sum_{m} Se_{k,m,w,,t} \quad \forall\, k,w,t \quad (۷)$$

$$Ikd_{k,w,t} = Ikd_{k,w,t-۱} + (۱ - PTk_{k,w,t}) * Tk_{k,w,t} - \sum_{n} Se_{k,n,w,t} \quad \forall\, k,w,t \quad (۸)$$

$$Im_{m,w,t} = Im_{m,w,t-۱} + \sum_{k} Se_{k,m,w,t} + \sum_{c}\sum_{tr} Sen_{c,m,w,tr,t} + \sum_{c}\sum_{to} Sen'_{c,m,w,to,t} - TM_{m,w,t} \quad \forall\, m,w,t \quad (۹)$$

$$TM_{m,w,t} \le Im_{m,w,t-۱} \quad \forall\, m,w,t \quad (۰۰)$$

$$Imd_{m,w,t} = Imd_{m,w,t-۱} + PTm_{m,w,t} * TM_{m,w,t} - \sum_{n} Se_{m,n,w,t} \quad \forall\, m,w,t \quad (۱۱)$$

$$\sum_{c}\sum_{tr}\sum_{t} Sen_{c,k,w,tr,t} \le M \times EK_{k,w} \quad \forall\, k,w \quad (۱۲)$$

$$\sum_{c}\sum_{w}\sum_{tr}\sum_{t} Sen_{c,m,w,tr,t} + \sum_{k}\sum_{w}\sum_{t} Se_{k,m,w,t} \le M \times EM_m \quad \forall\, m \quad (۱۳)$$

$$\sum_{k}\sum_{w}\sum_{t} Se_{k,n,w,t} + \sum_{m}\sum_{w}\sum_{t} Se_{m,n,w,t} \le M \times EN_n \quad \forall\, n \quad (۱۴)$$

$$Tk_{k,w,t} \le CapK_{k,w} \times EK_{k,w} \quad \forall\, k,w,t \quad (۱۵)$$

$$TM_{m,w,t} \le CapM_{m,w} \times EM_{m} \quad \forall\, m,w,t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{w} Sen_{ii,jj,w,tr,t} \le M \times NN_{ii,jj,tr,t} \quad \forall\, i,j,tr,t \quad (۱۷)$$

$$NN_{ii,jj,tr,t} \le \sum_{w} Sen_{ii,jj,w,tr,t} \quad \forall\, i,j,tr,t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{ii} X_{a,ii,tr,t} \le Tra_{a,tr} \quad \forall\, a,tr,t \quad (۱۹)$$

$$\sum_{ii}\sum_{tr}\sum_{t} X_{a,ii,tr,t} \le M \times EA_{a} \quad \forall\, a \quad (۲۰)$$

$$\sum_{ii} X_{ii,jj,tr,t} \le ۱ \quad \forall\, jj,tr,t \quad (۲۱)$$

$$\sum_{jj} X_{ii,jj,tr,t} \le ۱ \quad \forall\, ii,tr,t \quad (۲۲)$$

$$\sum_{c}\sum_{tr} X_{c,ii,tr,t} \le ۱ \quad \forall\, ii,t \quad (۲۳)$$

$$\sum_{c}\sum_{tr} X_{ii,c,tr,t} \le ۱ \quad \forall\, ii,t \quad (۲۴)$$

$$\sum_{ii} X_{ii,jj,tr,t} - \sum_{ii} X_{jj,ii,tr,t} = ۰ \quad \forall\, jj,tr,t \quad (۲۵)$$

$$\sum_{a}\sum_{a'}\sum_{tr}\sum_{t} X_{a,a',tr,t} = ۰ \quad (۲۶)$$

$$\sum_{ii} Qe_{ii,c,w,tr,t} - \sum_{ii} Qe_{c,ii,w,tr,t} + \sum_{k} Sen_{c,k,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, c,w,tr, \quad (۲۷)$$

$$\sum_{ii} Qe_{ii,k,w,tr,t} - \sum_{ii} Qe_{k,ii,w,tr,t} - \sum_{c} Sen_{c,k,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, k,w,tr, \quad (۲۸)$$

$$\sum_{ii} Qe_{ii,m,w,tr,t} - \sum_{ii} Qe_{m,ii,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, m,w,tr \quad (۲۹)$$

$$\sum_{ii} Qb_{ii,c,w,tr,t} - \sum_{ii} Qb_{c,ii,w,tr,t} + \sum_{m} Sen_{c,m,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, c,w,tr, \quad (۳۰)$$

$$\sum_{ii} Qb_{ii,m,w,tr,t} - \sum_{ii} Qb_{m,ii,w,tr,t} - \sum_{c} Sen_{c,m,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, m,w,tr \quad (۳۱)$$

$$\sum_{ii} Qb_{ii,k,w,tr,t} - \sum_{ii} Qb_{k,ii,w,tr,t} = ۰ \quad \forall\, k,w,tr, \quad (۳۲)$$

$$\sum_{ii} Qe_{ii,a,w,tr,t} + \sum_{ii} Qb_{ii,a,w,tr,t} = ۰ \qquad \forall\, a,w,tr, \quad (۳۳)$$

$$\sum_{w} Vo_w \times Qe_{ii,jj,w,tr,t} + \sum_{w} Vo_w \times Qb_{ii,jj,w,tr,t} \le CapV_{tr} \times X_{ii,jj,tr,t} \qquad \forall\, ii,jj,tr, \quad (۳۴)$$

$$Tim_{ii,tr,t} + TT_{ii,jj,tr} \le Tim_{jj,tr,t} + M \times (۱ - X_{ii,jj,tr,t}) \qquad \forall\, ii,jj,tr, \quad (۳۵)$$

$$\sum_{w} Sen'_{i',j',w,to,t} \le M \times NN'_{i',j',to,t} \qquad \forall\, i',j',to, \quad (۳۶)$$

$$NN'_{i',j',to,t} \le \sum_{w} Sen'_{i',j',w,to,t} \qquad \forall\, i',j',to, \quad (۳۷)$$

$$\sum_{i'} X'_{b,i',to,t} \le Trb_{b,to} \qquad \forall\, b,to,t \quad (۳۸)$$

$$\sum_{i'} X'_{i',j',to,t} \le ۱ \qquad \forall\, j',to,t \quad (۳۹)$$

$$\sum_{j'} X_{i',j',to,t} \le ۱ \qquad \forall\, i',to,t \quad (۴۰)$$

$$\sum_{c}\sum_{to} X'_{c,i',to,t} \le ۱ \qquad \forall\, i',t \quad (۴۱)$$

$$\sum_{c}\sum_{to} X'_{i',c,to,t} \le ۱ \qquad \forall\, i',t \quad (۴۲)$$

$$\sum_{i'} X'_{i',j',to,t} - \sum_{\substack{i' \\ i' \ne b}} X'_{j',i',to,t} = MM_{j',to,t} \qquad \forall\, j',to,t,\ j' \ne b \quad (۴۳)$$

$$\sum_{j'} MM_{j',to,t} \le ۱ \qquad \forall\, to,t \quad (۴۴)$$

$$\sum_{b}\sum_{b'}\sum_{tr}\sum_{t} X'_{b,b',to,t} = ۰ \quad (۴۵)$$

$$X'_{b,j',to,t} \le \sum_{\substack{i' \\ i' \ne b}} X'_{j',i',to,t} \qquad \forall\, b,j',to, \quad (۴۶)$$

$$\sum_{b}\sum_{\substack{j' \\ j' \ne b}} M \times X'_{b,j',to,t} \ge \sum_{i'}\sum_{j'} X'_{i',j',to,t} \qquad \forall\, to,t \quad (۴۷)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_{i'} Qe'_{i',c,w,to,t} - \sum_{i'} Qe'_{c,i',w,to,t} + \sum_{k} Sen'_{c,k,w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, c,w,to, \quad (٤٨)$$

$$\sum_{i'} Qe'_{i',k,w,to,t} - \sum_{i'} Qe'_{k,i',w,to,t} - \sum_{c} Sen'_{c,k,w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, k,w,to, \quad (٤٩)$$

$$\sum_{i'} Qe'_{i',m,w,to,t} - \sum_{i'} Qe'_{m,i',w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, m,w,to \quad (٥٠)$$

$$\sum_{i'} Qb'_{i',c,w,to,t} - \sum_{i'} Qb'_{c,i',w,to,t} + \sum_{m} Sen'_{c,m,w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, c,w,to, \quad (٥١)$$

$$\sum_{i'} Qb'_{i',m,w,to,t} - \sum_{i'} Qb'_{m,i',w,to,t} - \sum_{c} Sen'_{c,m,w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, m,w,to \quad (٥٢)$$

$$\sum_{i'} Qb'_{i',k,w,to,t} - \sum_{i'} Qb'_{k,i',w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, k,w,to, \quad (٥٣)$$

$$\sum_{i'} Qe'_{i',b,w,to,t} + \sum_{i'} Qb'_{i',b,w,to,t} = ۰ \qquad \forall\, b,w,to, \quad (٥٤)$$

$$\sum_{w} Vo_w \times Qe'_{i',j',w,to,t} + \sum_{w} Vo_w \times Qb'_{i',j',w,to,t} \le CapV'_{to} \times X_{i',j',to,t} \qquad \forall\, i',j',to, \quad (٥٥)$$

$$Tim'_{i',to,t} + TT'_{i',j',to} \le Tim'_{j',to,t} + M \times (۱ - X_{i',j',to,t}) \qquad \forall\, i',j',to,\ j' \neq b \quad (٥٦)$$

$$\sum_{w} Vo_w \times Se_{i,j,w,t} \le \sum_{tn} CapN_{tn} \times NV_{i,j,tn,t} \qquad \forall\, i,j,t \quad (٥٧)$$

$$Tim_{ii,tr,t} + TT_{ii,a,tr} \times X_{ii,a,tr,t} \le LT_{tr,t} \qquad \forall\, ii,a,tr, \quad (٥٨)$$

$$Tim'_{i',to,t} \le LT'_{to,t} \qquad \forall\, i',to,t \quad (٥٩)$$

$$\sum_{ii} \sum_{jj} X_{ii,jj,tr,t} \le M \times Uv_{tr,t} \qquad \forall\, i',to,t \quad (٦٠)$$

تابع هدف اول مدل شامل هزینه‌های زنجیره جمع‌آوری پسماندها است به طوری که در چهار بخش اول تابع هدف به ترتیب هزینه‌های احداث انبارها، مراکز اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن کمینه می‌شود. در هفت قسمت بعدی نیز به ترتیب هزینه‌های نگهداری موجودی کالای قابل اصلاح، بازیافت و دفن در گره‌های مختلف کمینه شده و در قسمت پایانی تابع هدف نیز هزینه‌های حمل‌ونقل پسماندها کمینه می‌شود. تابع هدف دوم مدل، تابع هدف ریسک بوده و در چهار بخش نخست آن ریسک احداث مراکز مختلف اعم از انبارها،

اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن کمینه می‌شوند. در سه قسمت آخر تابع هدف نیز ریسک عبور کامیون‌های مختلف از گره‌های گوناگون که به عنوان ریسک حمل‌ونقل شناخته می‌شود، کمینه می‌گردند. محدودیت (۳) بیان می‌کند که موجودی پسماند قابل اصلاح در هر دوره در هر یک از انبارهای تولیدکنندگان زباله برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه موجودی جدید تولید شده منهای مقدار پسماند قابل اصلاحی که توسط سیستم حمل‌ونقل داخلی و یا خارجی به مراکز اصلاح و بازبینی ارسال می‌گردد. محدودیت (۴) بیان می‌کند که موجودی پسماند قابل بازیافت در هر دوره در هر یک از انبارهای تولیدکنندگان زباله برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه موجودی جدید تولید شده منهای مقدار پسماند قابل بازیافت که توسط سیستم حمل‌ونقل داخلی و یا خارجی به مراکز بازیافت ارسال می‌گردد. محدودیت (۵) بیان‌کننده این نکته است که موجودی پسماند قابل اصلاح در هر دوره در هر یک از انبارهای مراکز اصلاح برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه مقدار پسماند قابل اصلاحی که از نقاط تولیدکننده زباله برای آن‌ها توسط سیستم حمل‌ونقل داخلی و خارجی ارسال می‌گردد منهای مقدار پسماند اصلاح شده در آن دوره. نامعادله (۶) تضمین می‌کند که مقدار زباله اصلاح شده در هر دوره در هر یک از مراکز اصلاح و بازبینی بیشتر از موجودی پسماند قابل بازیافت آن مرکز اصلاح در دوره قبل نباشد. محدودیت (۷) بیان‌کننده این موضوع است که موجودی پسماند قابل بازیافت در هر دوره در هر یک از انبارهای مراکز اصلاح برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه مقدار پسماند قابل بازیافت شناسایی شده در آن مراکز منهای مقدار پسماند قابل بازیافتی که در آن دوره به مراکز بازیافت ارسال می‌گردد. محدودیت (۸) تضمین کننده آن است که موجودی پسماند قابل دفن در هر دوره در هر یک از انبارهای مراکز اصلاح برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه مقدار پسماند قابل دفن شناسایی شده در آن مراکز منهای مقدار پسماند قابل دفنی که در آن دوره به مراکز دفن ارسال می‌گردد. محدودیت (۹) بیان می‌کند که موجودی پسماند قابل بازیافت در هر دوره در هر یک از انبارهای مراکز بازیافت برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه مقدار پسماند قابل بازیافت که از نقاط تولیدکننده زباله و یا مراکز اصلاح برای آن‌ها توسط

سیستم حمل‌ونقل داخلی و خارجی ارسال می‌گردد منهای مقدار پسماند بازیافت شده در آن دوره. نامعادله (۱۰) تضمین می‌کند که مقدار زباله بازیافت شده در هر دوره در هر یک از مراکز بازیافت نمی‌تواند بیشتر از موجودی پسماند قابل بازیافت آن مرکز در دوره قبل باشد. محدودیت (۱۱) بیان می‌کند که موجودی پسماند قابل دفن در هر دوره در هر یک از انبارهای مراکز بازیافت برابر است با موجودی دوره قبل آنان بعلاوه مقدار پسماند قابل دفن شناسایی شده در آن مراکز منهای مقدار پسماند قابل دفنی که در آن دوره به مراکز دفن ارسال می‌گردد.

محدودیت (۱۲) ضمانت کننده این موضوع است که تنها زمانی می‌توانیم پسماند اصلاحی را به یک مرکز اصلاح و بازبینی ارسال کنیم که آن مرکز اصلاح احداث شده باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که تنها زمانی می‌توانیم پسماند بازیافتی را از سایر گره‌ها به یک مرکز بازیافت ارسال کنیم که آن مرکز بازیافت احداث شده باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که تنها زمانی می‌توانیم پسماند بازیافتی را از سایر گره‌ها به یک مرکز بازیافت ارسال کنیم که آن مرکز بازیافت احداث شده باشد. نامعادله (۱۵) محدودیت ظرفیت مرکز اصلاح بوده و بیان می‌کند که میزان زباله اصلاح شده در هر دوره نمی‌تواند از ظرفیت آن مرکز اصلاح بیشتر باشد. نامعادله (۱۶) محدودیت ظرفیت مرکز بازیافت بوده و بیان می‌کند که میزان زباله بازیافت شده در هر دوره نمی‌تواند از ظرفیت آن مرکز بازیافت بیشتر باشد. محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) محدودیت‌های ترکیبی بوده و بیان می‌کنند که تنها زمانی $NN_{ii,jj,tr,t}$ برابر یک است که حداقل یک نوع پسماند در دوره t توسط کامیون trام از گره ii به گره jj ارسال شده باشد. محدودیت (۱۹) بیان می‌کند که تنها کامیون‌هایی می‌توانند از انبار aام شروع به حرکت کنند که به آن انبار تعلق داشته باشند. محدودیت (۲۰) تضمین کننده این موضوع است که تنها زمانی انبار aام استفاده می‌شود که آن انبار احداث شده باشد. محدودیت (۲۱) بیان‌کننده آن است که هر کامیون داخلی تنها یک‌بار در هر دوره می‌تواند وارد گره‌های مختلف گردد. محدودیت (۲۲) بیان‌کننده آن است که هر کامیون داخلی تنها یک‌بار در هر دوره می‌تواند از هر گره خارج گردد. محدودیت‌های (۲۳) و (۲۴) بیان می‌کنند

که در هر دوره تنها یک کامیون داخلی می‌تواند به گره تولیدکننده زباله سرویس‌دهی نماید. محدودیت (۲۵) بیان می‌کند اگر کامیونی در یک دوره وارد گره‌ای شود موظف است از آن گره خارج گردد. محدودیت (۲۶) تضمین می‌کند که هیچ مسیری مابین انبارها وجود نداشته باشد. محدودیت (۲۷) بیان‌کننده آن است که میزان جریان پسماند قابل اصلاح خارج شده از هر یک از گره‌های تولید زباله در هر دوره برای هر وسیله نقلیه داخلی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره بعلاوه مقدار کالای قابل اصلاحی که توسط آن گره به آن وسیله نقلیه داخلی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۲۸) بیان می‌کند که میزان جریان پسماند قابل اصلاح خارج شده از هر یک از گره‌های اصلاح و بازبینی در هر دوره برای هر وسیله نقلیه داخلی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره منهای مقدار کالای قابل اصلاحی که توسط آن وسیله نقلیه داخلی به آن گره اصلاح و بازبینی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۲۹) ضمانت می‌دهد که در سیستم حمل‌ونقل داخلی مقدار جریان پسماند اصلاحی وارد شده به هر یک از گره‌های بازیافت دقیقاً برابر با مقدار پسماند اصلاحی خارج شده از آنان باشد. محدودیت (۳۰) بیان می‌کند که میزان جریان پسماند قابل بازیافت خارج شده از هر یک از گره‌های تولید زباله در هر دوره برای هر وسیله نقلیه داخلی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره بعلاوه مقدار کالای قابل بازیافتی که توسط آن گره به آن وسیله نقلیه داخلی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۳۱) بیان‌کننده آن است که میزان جریان پسماند قابل بازیافت خارج شده از هر یک از گره‌های بازیافت در هر دوره برای هر وسیله نقلیه داخلی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره منهای مقدار کالای قابل بازیافتی که توسط آن وسیله نقلیه داخلی به آن گره بازیافت تحویل داده می‌شود. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند که در سیستم حمل‌ونقل داخلی مقدار جریان پسماند بازیافتی وارد شده به هر یک از گره‌های اصلاح و بازبینی دقیقاً برابر با مقدار پسماند بازیافتی خارج شده از آنان باشد. محدودیت (۳۳) ضمانت می‌کند که هیچ جریان پسماند قابل اصلاح یا قابل بازیافتی نمی‌تواند وارد انبارها گردد و پیش از آن می‌بایست به مراکز اصلاح و بازیافت تحویل داده شود. نامعادله (۳۴) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه داخلی بوده و تضمین می‌کند مقدار جریان حمل شده توسط

کامیون‌های داخلی بیشتر از ظرفیت آن‌ها نگردد. محدودیت (۳۵) بیان می‌کند که اگر قرار باشد کامیون داخلی trام گره jjام را بلافاصله بعد از گره iiام در دوره tام سرویس‌دهی کند، آنگاه زمان اتمام عملیات کامیون مذکور در گره jjام حداقل برابر خواهد بود با زمان اتمام عملیات در گره iiام بعلاوه مدت‌زمان سفر مابین این دو گره محدودیت‌های (۳۶) و (۳۷) محدودیت‌های ترکیبی بوده و بیان می‌کنند که تنها زمانی $NN'_{i',j',to,t}$ برابر یک است که حداقل یک نوع پسماند در دوره t توسط وسیله نقلیه خارجی toام از گره i' به گره j' ارسال شده باشد. محدودیت (۳۸) بیان می‌کند که تنها کامیون‌هایی می‌توانند از آژانس خارجی bام شروع به حرکت کنند که به آن آژانس خارجی تعلق داشته باشند. محدودیت (۳۹) بیان‌کننده آن است که هر کامیون خارجی تنها یک‌بار در هر دوره می‌تواند وارد گره‌های مختلف گردد که مطابق با مفروضات مسئله طراحی شده است. محدودیت (۴۰) بیان‌کننده آن است که هر کامیون خارجی تنها یک‌بار در هر دوره می‌تواند از هر گره خارج گردد. محدودیت‌های (۴۱) و (۴۲) بیان می‌کنند که در هر دوره تنها یک کامیون خارجی می‌تواند به گره تولیدکننده زباله سرویس‌دهی نماید.

محدودیت (۴۳) بیان می‌کند اگر کامیونی خارجی در یک دوره وارد گره‌ای شود موظف است از آن گره خارج گردد مگر آن که آن گره، آخرین گره مورد بازدید آن کامیون باشد. محدودیت (۴۴) مکمل محدودیت (۴۳) بوده و بیان می‌کند که هر کامیون خارجی در هر دوره تنها می‌تواند یک نقطه انتهایی سفر داشته باشد. محدودیت (۴۵) تضمین می‌کند که هیچ مسیری مابین آژانس‌های خارجی وجود نداشته باشد. محدودیت‌های (۴۶) و (۴۷) تضمین می‌کند که مسیر کامیون‌های خارجی حتماً از آژانس خارجی آغاز گردد. در واقع هر کامیون خارجی می‌بایست سفر خود را از یک آژانس خارجی آغاز نماید. محدودیت (۴۸) بیان‌کننده آن است که میزان جریان پسماند قابل اصلاح خارج شده از هر یک از گره‌های تولید زباله در هر دوره برای هر وسیله نقلیه خارجی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره بعلاوه مقدار کالای قابل اصلاحی که توسط آن گره به آن وسیله نقلیه خارجی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۴۹) بیان می‌کند که میزان جریان پسماند قابل اصلاح خارج شده از هر یک از

گره‌های اصلاح و بازبینی در هر دوره برای هر وسیله نقلیه خارجی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره منهای مقدار کالای قابل اصلاحی که توسط آن وسیله نقلیه خارجی به آن گره اصلاح و بازبینی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۵۰) ضمانت می‌دهد که در سیستم حمل‌ونقل خارجی، مقدار جریان پسماند اصلاحی وارد شده به هر یک از گره‌های بازیافت دقیقاً برابر با مقدار پسماند اصلاحی خارج شده از آنان باشد.محدودیت (۵۱) بیان می‌کند که میزان جریان پسماند قابل بازیافت خارج شده از هر یک از گره‌های تولید زباله در هر دوره برای هر وسیله نقلیه خارجی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره بعلاوه مقدار کالای قابل بازیافتی که توسط آن گره به آن وسیله نقلیه خارجی تحویل داده می‌شود. محدودیت (۵۲) بیان‌کننده آن است که میزان جریان پسماند قابل بازیافت خارج شده از هر یک از گره‌های بازیافت در هر دوره برای هر وسیله نقلیه خارجی برابر است با میزان جریان وارد شده به آن گره منهای مقدار کالای قابل بازیافتی که توسط آن وسیله نقلیه خارجی به آن گره بازیافت تحویل داده می‌شود. محدودیت (۵۳) تضمین می‌کند که در سیستم حمل‌ونقل خارجی، مقدار جریان پسماند بازیافتی وارد شده به هر یک از گره‌های اصلاح و بازبینی دقیقاً برابر با مقدار پسماند بازیافتی خارج شده از آنان باشد. محدودیت (۵۴) ضمانت می‌کند که هیچ جریان پسماند قابل اصلاح یا قابل بازیافتی نمی‌تواند وارد آژانس‌های خارجی گردد و پیش از آن می‌بایست به مراکز اصلاح و بازیافت تحویل داده شود. نامعادله (۵۵) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه خارجی بوده و تضمین می‌کند مقدار جریان حمل شده توسط کامیون‌های خارجی بیشتر از ظرفیت آن‌ها نگردد. این محدودیت بر اساس مفروضات مسئله طراحی شده تا طرفیت حمل و نقل را لحاظ کند. محدودیت (۵۶) بیان می‌کند که اگر قرار باشد کامیون خارجی toام گره j'ام را بلافاصله بعد از گره i'ام در دوره tام سرویس‌دهی کند، آنگاه زمان اتمام عملیات کامیون مذکور در گره j'ام حداقل برابر خواهد بود با زمان اتمام عملیات در گره i'ام بعلاوه مدت‌زمان سفر مابین این دو گره. در محدودیت (۵۷) تعداد کامیون‌های موردنیاز به منظور انتقال پسماندها مابین مراکز اصلاح و بازبینی، بازیافت و دفن محاسبه می‌گردد. محدودیت (۵۸)، محدودیت زمان سفر برای وسایل حمل‌ونقل داخلی بوده

و بیان‌کننده این نکته است که هر وسیله نقلیه داخلی حداکثر زمان مشخصی را می‌تواند در سفر باشد. محدودیت (۵۹)، محدودیت زمان سفر برای وسایل حمل‌ونقل خارجی بوده و بیان‌کننده این نکته است که هر وسیله نقلیه خارجی حداکثر زمان مشخصی را می‌تواند در سفر باشد. در این محدودیت، برخلاف محدودیت (۵۸) زمان سفر کامیون به نقطه شروع حرکت محاسبه نمی‌گردد. محدودیت (۶۰) بیان می‌کند که متغیر $Uv_{tr,t}$ زمانی برابر یک است که کامیون trام در آن دوره مورد استفاده قرار گرفته شده باشد.

معرفی روش‌های حل

همانطور که در قسمت پیش هم به آن اشاره شد مسئله حاضر متشکل از مسائل مکانیابی، موجودی و حمل ونقل می‌باشد و هر کدام از این مسائل از نوع سخت[1] میباشند لذا مسائله اصلی نیز پیچیده و زمانبر می‌باشد (ولیدی، ۲۰۱۵). بودن ذاتی مساله حاضر، همچنین به دلیل استفاده از دو تابع هدف در مدل، پیچیدگی محاسباتی مسئله افزایش یافته است. لذا از دو روش فراابتکاری NSGA-II و MOPSO برای حل مساله استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب یکی از الگوریتم‌های مهم و پرکاربرد در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه است. روش NSGA-II کارایی خود را حل مسائل پیچیده زنجیره تامین اثبات کرده است (ربانی و همکاران ۲۰۱۷، ربانی و همکاران ۲۰۱۸) .گام‌های این الگوریتم به صورت خلاصه شامل: ایجاد یک جمعیت اولیه، رتبه بندی جمعیت با استفاده از تکنیک مرتب‌سازی نامغلوب و بر مبنای دو معیار کیفیت و نظم جواب‌ها، مشخص کردن شانس انتخاب با توجه به دو معیار کیفیت و نظم پاسخ‌ها به هر یک از والدین و انتخاب آنان به کمک چرخه رولت[2]، انتخاب والدین و جهش بر روی آنان انجام شود و جمعیت جدید جهش‌یافتگان ایجاد گردد، والدین و جمعیت جدید فرزندان ترکیب شوند و جواب‌های بدون کیفیت حذف شوند.

1 .NP-hard
2 .Roulette wheel

برای ارزش‌گذاری جواب‌های پاراتوی به دست آمده در الگوریتم NSGAII بر اساس معیار نظم، از پارامتری تحت عنوان فاصله ازدحامی استفاده می‌شود. در این راستا، بردار جواب توسط یک مثال کوچک بررسی میشود. در این پژوهش از ترکیب الگوریتم NSGAII و نرم‌افزار گمز به عنوان یک نرم‌افزار ارائه دهنده حل دقیق به منظور حل مسئله مورد پژوهش استفاده شده است. در این پژوهش چنین فرض شده است که بردارهای جواب از دو بخش تشکیل شده‌اند. بخش اول به تعداد مراکز اصلاح و بازبینی، مراکز بازیافت و مراکز دفن ستون دارد و با مقادیر صفر و یک پرسازی می‌شود. بخش دوم بردار پاسخ مربوط به مسیریابی حمل‌ونقل کامیون‌های جمع‌آوری زباله است و مشخص می‌کند که هر کامیون از کدام یک از مراکز تولید، اصلاح و بازبینی و بازیافت عبور می‌کند و هر یک از آن‌ها در چه توالی سرویسی دیدار خواهد کرد. ذکر این نکته نیز ضروری می‌باشد که هسته جواب اولیه از جوابهای پیوسته و گسسته تشکیل شده است و در این راستا جواب اولیه اعداد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌کند و پس از آن با توجه به نوع اعداد مد نظر، جوابهای صفر و یک یا پیوسته تولید میشود. این روش باعث میشود تا جوابها با طیف گسترده ای تولید شوند، همچنین سرعت محاسباتی را نیز کاهش میدهد.

مرکز دفن دوم	مرکز دفن اول	مرکز بالقوه بازیافت سوم	مرکز بالقوه بازیافت دوم	مرکز بالقوه بازیافت اول	مرکز بالقوه اصلاح و بازبینی سوم	مرکز بالقوه اصلاح و بازبینی دوم	مرکز بالقوه اصلاح و بازبینی اول
۱	۱	۱	۰	۱	۲	۰	۰

شکل ۱: نمونه‌ای از بخش اول بردار جواب مورد استفاده برای حل مسئله

	تولیدکننده زباله اول	تولیدکننده زباله دوم	تولیدکننده زباله سوم	تولیدکننده زباله چهارم
دوره اول	۲.۵۰۹	۹.۱۲۳	۰.۰۹۴	۲.۴۳۵
دوره دوم	۶.۴۲۰	۹.۲۳۴	۲.۵۲۵	۹.۰۴۲

شکل ۲ نمونه‌ای از بخش دوم بردار جواب مورد استفاده برای حل مسئله

از آنجایی که گمز قادر به حل مسائل دو هدفه نیست و مسئله باید به طریق مشخصی به یک مسئله تک هدفه تبدیل گردد، بدین منظور تابع هدف دوم مسئله به محدودیت‌ها اضافه می‌شود و یک مقدار سمت را به اسم RHS برای آن برمی‌گزینیم که این روش بر اساس روش اپسیلون محدودیت می‌باشد. لازم به ذکر است این روش فقط برای دریافت نتیجه از روش حل دقیق گمز استفاده شده است.

$$\sum_{a} Ga_a \times EA_a + \sum_{k}\sum_{w} GK_{k,w} \times GK_{k,w} + \sum_{m} GM_m \times EM_m + \sum_{n} GN_n \times EN_n + \sum_{ii}\sum_{jj}\sum_{tr}\sum_{t} GC_{ii,jj,tr} \times X_{ii,jj,tr,t} + \sum_{i'}\sum_{j'}\sum_{to}\sum_{t} GC'_{i',j',to} \times X_{i',j',to,t} + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{tn}\sum_{t} GC''_{i,j,tn} \times NV_{i,j,tn,t} \leq RHS \qquad ٦٢$$

الگوریتم بهینه‌سازی پیوسته گروه ذرات[1]

الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات از معروفی‌ترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی است اساس این الگوریتم بر مبنای زندگی جمعی ماهی‌ها و پرندگان استوار بوده. در نخستین قدم از این الگوریتم یک جمعیت تصادفی تولید می‌گردد و در هر تکرار این الگوریتم ذرات با توجه به سرعت قبلی خود (v_k^i)، بهترین موقعیتی که خود ذرات تا به حال به دست آورده‌اند

1 .Particle Swarm Optimization

($pbest_k^i$) و نیز بهترین موقعیتی که تمام اعضای جمعیت تا این تکرار یافته‌اند ($gbest_k$)، سرعتی خواهند داشت. از آنجایی که الگوریتم PSO یک الگوریتم پیوسته میباشد، همانطور که در قسمت قبل نیز به ان اشاره شد جوابهای اولیه به صورت پیوسته در رنج (۱ ۰) تولید میشود و پس از اتصال به الگوریتم PSO، جوابها به صورت مدنظر (اعداد صفر یکی، یا اعداد پیوسته بزرگتر از یک) بازخوانی میشوند. ذکر این نکته ضروری است که روش تاگوچی یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری برای تحلیل حساسیت خروجی یک فرآیند در حوزه طراحی آزمایش‌ها به شمار می‌رود. لازم به ذکر است که تمامی تحلیل‌های مربوط به روش تاگوچی به کمک نرم‌افزار Minitab16 پیاده‌سازی شده‌اند. نتایج مربوط نیز در پیوست آورده شده است. در این روش بر اساس خروجی نرم افزار مقادیر حاصل از روش تاگوچی تعداد آزمایش لازم برای دستیابی به نتایج و ارتقا کیفیت روش حل را کاهش میدهد (برای کسب اطلاعات بیشتر درباره الگوریتم تاگوچی به مقاله ربانی و همکارن ۲۰۱۸ رجوع شود)

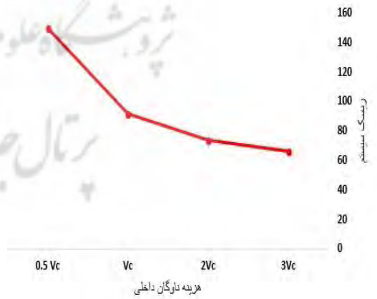
تجزیه و تحلیل نتایج

به منظور بررسی و ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی، مثال‌های عددی تصادفی برگرفته از پژوهش ربانی و همکاران(۲۰۱۵) مورد استفاده قرار گرفت. در این بخش با توجه به پارامترهای استخراج شده در بخش تنظیم پارامتر، دو الگوریتم NSGA II و MOPSO با استفاده از ۲۰ مثال عددی پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. با توجه به چندهدفه بودن الگوریتم‌ها و تشکیل جبهه پاراتو از معیارهای زمان، شاخص بیشترین گسترش، فاصله‌گذاری و میانگین فاصله جواب‌های پاراتو از جواب ایده آل به عنوان معیارهایی برای مقایسه الگوریتم‌ها استفاده گردیدند که این شاخص‌ها در مقایسه الگوریتمهای چندهدفه کاربرد دارند (برای آشنایی بیشتر با این شاخص‌ها به مقاله ربانی و همکاران ۲۰۱۸ مراجعه شود) در جدول ۲ پیوست، ۱۰ مساله اول مربوط به نمونه مسائل ابعاد کوچک می‌باشد، باقی مسائل ابعاد متوسط و بزرگ می‌باشند. نتایج هر مسئله میانگین ۵ بار تکرار است و همچنین هر بار الگوریتم از ۷۰۰ تکرار تشکیل شده است.

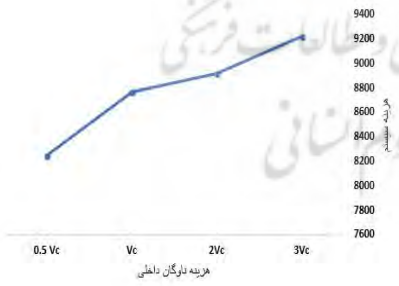
مطابق نتایج، تقریباً الگوریتم NSGA II در هر چهار شاخص مورد بررسی توانسته است الگوریتم MOPSO را مغلوب ساخته و بر آن چیره شود، هر چند که در برخی از مثال‌های عددی و آن هم در بعضی از شاخص‌ها این الگوریتم MOPSO بوده که پیروز گشته است. ذکر این نکته نیز ضروری است، مطابق نتایج جدول روش حل دقیق در ابعاد کوچک موفق به حل مساله شده ولی زمان حل به صورت چشم‌گیری رو به افزایش می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج عددی و پارامترهای اولیه در پیوست ارائه شده اند.

تحلیل حساسیت

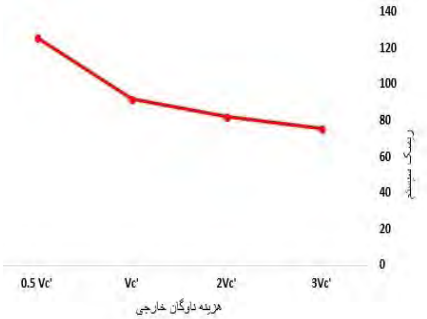
در این قسمت یک مساله مربوط به یک شرکت تولید کننده مواد شوینده در نزدیک شهر تهران با دو مرکز انبار، دو مرکز تولید، دو مرکز بازیافت، دو مرکز اصلاح و دو آژانس خارجی، مورد بررسی قرار گرفته تا رفتار مدل به ازای تغییر پارامترهای مدل مورد بررسی قرار گیرد. زباله‌های شیمیایی حاصل از تولید مواد در این شرکت اهمیت زیادی دارد. در این راستا هزینه احداث انبار، هزینه حمل و نقل با ناوگان داخلی و هزینه حمل و نقل با ناوگان خارجی پارامترهای اساسی مدل می‌باشد. شکلهای ۳ الی ۸ رفتار مدل را به ازای تغییر قیمت حمل نقل با ناوگان‌های داخلی، خارجی و هزینه احداث انبار نمایش می‌دهد. این نمودارها رفتار هر تابع هدف را برای تغییر پارامترهای مذکور به صورت جداگانه و همزمان نمایش میدهند تا علاوه بر تحلیل رفتار مدل، تضاد موجود بین توابع هدف به نمایش درآید.



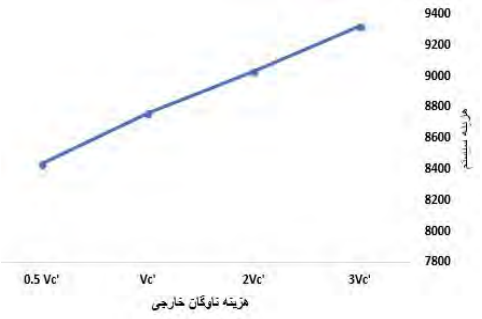
شکل ۳: بررسی ریسک سیستم به ازای تغییرات هزینه حمل و نقل با ناوگان داخلی



شکل ٤ : بررسی هزینه سیستم به ازای تغییرات هزینه حمل و نقل با ناوگان داخلی

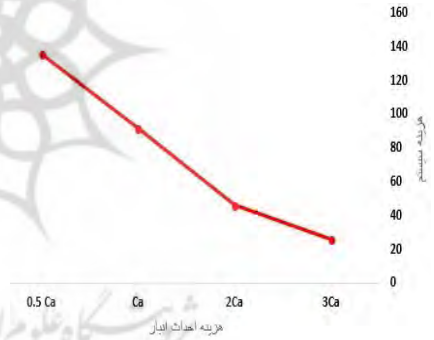


شکل ۵: بررسی ریسک سیستم به ازای تغییرات هزینه حمل و نقل با ناوگان خارجی

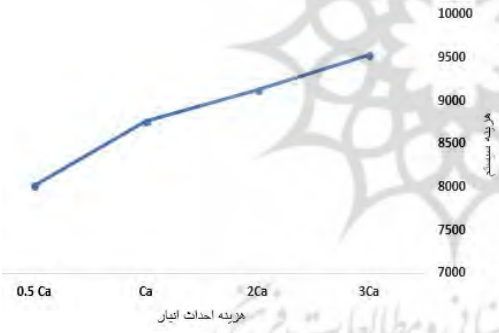


نمودار۶: بررسی هزینه سیستم به ازای تغییرات هزینه حمل و نقل با ناوگان خارجی

شکل‌های ۵ الی ۸ تغییر رفتار مدل را به ازای تغییر هزینه حمل و نقل با ناوگانهای داخلی و خارجی نشان میدهد. بر اساس این نتایج، شیب تغییرات هزینه به ازای تغییر هزینه حمل و نقل با ناوگان خارجی و شیب تغییرات ریسک به ازای تغییر هزینه حمل و نقل با ناوگان داخلی نسبت به دو حالت مشابه دیگر بیشتر میباشد. به عبارت دیگر تکیه به سیستم حمل و نقل خارجی باعث تجمیل هزینه بیشتر بر سیستم میشود.



شکل ۷: بررسی ریسک سیستم به ازای تغییرات هزینه احداث انبار



شکل ۸: بررسی هزینه سیستم به ازای تغییرات هزینه احداث انبار

بر اساس شکلهای ۷ و ۸ تاثیر افزایش هزینه احداث انبار باعث افزایش هزینه کل سیستم میباشد. افزایش هزینه احداث انبار باعث شده تا مدل تصمیم بگیرد تعداد انبار احداث شده را کاهش دهد و این امر موجب میشود تا ریسک ناشی از احداث مراکز جدید کاهش یابد. به

عبارت دیگر با تصمیم مدل مبنی بر کاهش مراکز احداث شده، به تبع آن ریسک ناشی از احداث مراکز در ساختار سیستم کاهش میابد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدل مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی در شبکه جمع آوری پسماندهای خطرناک توسعه داده شده است. مسأله مورد بررسی مسأله ای چند سطحی، چند محصولی و چند دوره ای می‌باشد. ناوگان حمل و نقل به کار گرفته شده از نوع همگن است. علاوه بر ناوگان حمل و نقل داخلی از ناوگان حمل و نقل خارجی برای جمع آوری پسماندها از نقاط تولید زباله استفاده می‌شود. از جمله اهداف مدل می‌توان به اهداف اقتصادی اشاره کرد که مربوط به کاهش هزینه‌ها می‌باشد. هدف دیگر مدل کاهش ریسک است. اعتبار سنجی مدل نهایی با استفاده از نرم افزار گمز انجام شد ولی به دلیل بزرگ بودن سایز مسأله و پیچیدگی مدل اجرای کد مدل در نرم افزار وقت گیر بوده لذا به منظور صرفه جویی در وقت و دستیابی به جواب‌های بهتر از روش‌های فراابتکاری و ترکیب آنها با نرم افزار گمز، بعنوان یک نرم افزار ارائه دهنده حل دقیق استفاده شده است. دو الگوریتم NSGA-II و MOPSO برای حل مسأله در سایزهای کوچک و متوسط و بزرگ به کار برده شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، الگوریتم NSGA-II قابلیت اطمینان بالا و قدرت چشمگیری را در حل مسأله بهینه سازی چند هدفه دارد و این برتری در دو بعد چگونگی تعریف بردار جواب و عملگرهای قدرتمند این الگوریتم به خوبی قابل مشاهده است. علاوه بر این به منظور افزایش کارای الگوریتم‌ها و ارائه نتایج بهتر از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترها استفاده شده است. در قسمت بعد، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مدل به منظور دریافت نتایج مدیریتی ، اعمال شده است. در این راستا و به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آتی میتوان به موارد زیر اشاره کرد: محدودیت‌های جدید به مسأله افزوده شود، برای مثال از آنجا که فاکتور زمان در مسأله مدیریت جمع آوری پسماند عامل مهمی است می‌توان محدودیت پنجره زمانی را نیز در مدل لحاظ کرد. در تحقیقات آتی می‌توان اثرات جنبه‌های دیگر موجود در زنجیره تامین را

نیز مورد بررسی قرار داد که از این جمله میتوان به عوامل زیست محیطی، بروز بلایای طبیعی و نقش تئوری صف در کاهش اثرات مخرب زیست محیطی اشاره کرد. در نظر گرفتن سایر پارامترها جهت تحلیل حساسیت و استفاده از سایر روش‌های ابتکاری، دقیق و فراابتکاری برای حل مساله ، پیشنهادات دیگری برای مطالعات آتی می‌باشند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

اعتباری, ترابی, نیلوفر. (۲۰۱۹). ارائه مدل مکانیابی-مسیریابی ظرفیت دار پویا با در نظرگرفتن تقاضای وابسته به قیمت. *مطالعات مدیریت صنعتی*, *۱۷* (۵۲), ۸۹-۱۲۴.

خانی, خلج, مهران, خلج. (۲۰۱۹). مدلی ریاضی دو هدفه مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای مسألهٔ مکان‌یابی–موجودی با در نظرگرفتن قابلیت اطمینان پاسخگویی تقاضا و تخفیفات چند سطحی. *مطالعات مدیریت صنعتی*, *۱۶* (۵۱), ۲۶۵-۳۰۰.

نوری هرزویلی, حسینی مطلق, نعمت الهی. (۲۰۱۹). ارائه مدل ریاضی جهت هماهنگی تصمیمات سیستم موجودی مرور دوره ای و تسهیم سود در زنجیره تامین دوسطحی غیرمتمرکز با استفاده از قرارداد تخفیف مقداری. *مطالعات مدیریت صنعتی*,*۱۷* (۵۲), ۲۸۷-۳۳۸.

وحدانی, بهنام, طاهروردی. (۲۰۱۹). ارائه یک مدل برنامه ریزی چند هدفه برای مسئله مکان یابی–موجودی-مسیریابی در یک شبکه زنجیره تامین چند سطحی با در نظر گرفتن حداکثر پوشش تقاضا. *مطالعات مدیریت صنعتی*, *۱۷* (۵۲), ۲۳۹-۲۸۶.

Alumur ,S & ,.Kara, B. Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem .*Computers & Operations Research*.۱٤۲۳-۱٤۰٦ ,(٥) ۳٤ ,

Baumgarten ,H., Klinkner, R & ,.Sommer-Dittrich*, T. (2004). Reconfigurable logistics systems in production and disassembly networks .*International journal of production research*-۳٦٤۷ ,(۱۷) ٤۲ , .۳٦٥٥

Buhrkal ,K., Larsen, A & ,.Ropke, S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context .*Procedia-Social and Behavioral Sciences*.۲٥٤-۲٤۱ , ۳۹ ,

Dekker ,R., Fleischmann, M., Inderfurth, K & ,.van Wassenhove, L. N. (Eds .(۲۱۱۳) .(.*Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains* .Springer Science & Business Media.

El-Sherbeny ,N. A. (2010). Vehicle routing with time windows: An overview of exact ,heuristic and metaheuristic methods .*Journal of King Saud University-Science*.۱۳۱-۱۲۳ ,(۳) ۲۲ ,

Field J, M & ,.Sroufe, R. P. (2007). The use of recycled materials in manufacturing: implications for supply chain management and operations strategy .*International Journal of Production Research*.٤٤٦٣-٤٤٣٩ ,(١٩-١٨)٤٥ ,

Hiassat ,A., Diabat, A & ,.Rahwan, I. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products .*Journal of manufacturing systems*.٠٠٣-٩٣ ,٤٢ ,

Hicks ,C., Heidrich, O., McGovern, T & ,.Donnelly, T. (2004). A functional model of supply chains and waste .*International Journal of Production Economics*.١٧٤-١٦٥ ,(٢)٨٩ ,

Javid ,A. A & ,.Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design .*Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.٥٩٧-٥٨٢ ,(٥)٤٦ ,

Nakhai Kamalabadi, I. (2016). A new mathematical model for the closed-loop supply chains considering pricing for product, a fleet of heterogeneous vehicles, and inventory costs .*Journal of Optimization in Industrial Engineering*.٤٠-٢٩ ,(٢١)٠٠ ,

Nekooghadirli ,N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R & ,. Javanmard, S. H. (2014 .(Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics .*Computers & Industrial Engineering*.٢٢١-٢٠٤ ,٧٦ ,

Rabbani ,M., Farrokhi-Asl, H & ,.Asgarian, B. (2017). Solving a bi-objective location routing problem by a NSGA-II combined with clustering approach :application in waste collection problem .*Journal of Industrial Engineering International*.٢٧-١٣ ,(١)١٣ ,

Rabbani ,M., Heidari, R., Farrokhi-Asl, H & ,.Rahimi, N. (2018). Using metaheuristic algorithms to solve a multi-objective industrial hazardous waste location-routing problem considering incompatible waste types .*Journal of Cleaner Production*.٢٤١-٢٢٧ ,٠٧٠ ,

Tavakkoli-Moghaddam ,R & ,.Raziei, Z. (2016). A new bi-objective location-routing-inventory problem with fuzzy demands .*IFAC-PapersOnLine*.١١٢١-١١١٦ ,(١٢)٤٩ ,

Validi ,S., Bhattacharya, A & ,.Byrne, P. J. (2015). A solution method for a two-layer sustainable supply chain distribution model .*Computers &Operations Research*.۲۱۷-۲۰٤ ,٥٤ ,

Yuchi ,Q., He, Z., Yang, Z & ,.Wang, N. (2016). A location-inventory-routing problem in forward and reverse logistics network design .*Discrete Dynamics in Nature and Society*. ۲۰۱٦ ,

Zhalechian ,M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B & ,. Mohammadi, M. (2016 .(Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty .*Transportation Research Part E :Logistics and Transportation Review*.۲۱٤-۱۸۲ ,۸۹ ,

Zhang ,Y., Qi, M., Lin, W. H & ,.Miao, L. (2015). A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions .*Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.۹۰ ,۸۳ ,

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی