



ارائه و حل مدل مکان یابی زنجیره تامین معکوس و گردآوری خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن ابعاد پایداری و الگوریتم های فراابتکاری

یوسف آقائی پور^۱، مسعود پیرداستان^{۲*}

۱- دکترای مهندسی صنایع، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، مدرس دانشگاه و شرکت ایران خودرو، کنشگر حوزه خودرو سازی سبز

۲- دکترای مهندسی صنایع، عضو باشگاه دانش پژوهان جوان ونخبگان، مدرس دانشگاه، کنشگر حوزه بانکداری سبز، کارشناس علوم بانکی (بانک سپه)

*ma.pirdastan@yahoo.com

ارسال: تیر ماه ۱۴۰۱ پذیرش: مرداد ماه ۱۴۰۱

چکیده

هدف از در این مقاله به ارائه و حل مدل ریاضی برای مسئله مکان یابی، تخصیص، مسیریابی در شبکه لجستیک معکوس جمع آوری خودروهای فرسوده با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری؛ در ایران پرداخته شده است که این مدل شامل اهداف پیشینه سازی سود شبکه، کمینه سازی اثرات زیست محیطی و پیشینه سازی سود اجتماعی می باشد. ابتدا مدل ریاضی سه هدفه با پارامترهای فازی ارائه گردیده است و سپس با استفاده از دو الگوریتم دسته میگوها که به اختصار KHA نامیده می شود؛ و الگوریتم NSGA-II که نسخه چند هدفه الگوریتم ژنتیک می باشد، حل گردیده است. همچنین در این تحقیق جهت محاسبه پارامترهای مربوط به اثرات زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب از روشهای LCA و AHP استفاده شده است. پس از حل مدل، مقایسه نتایج این دو الگوریتم نشان داد، کیفیت جواب تولید شده توسط الگوریتم بهینه سازی دسته میگوها بهتر از الگوریتم NSGA-II بوده و الگوریتم دسته میگوها توانایی بالاتری جهت استخراج، اکتشاف و دستیابی به جوابهای باکیفیت تر نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین؛ لجستیک معکوس؛ الگوریتم فراابتکاری؛ اثرات زیست محیطی؛ خودروهای فرسوده.

۱- مقدمه

امروزه با توجه به جمعیت رو به رشد جهان چه در کشورهای توسعه یافته و چه در کشورهای در حال توسعه، سالانه حجم قابل توجهی از زباله تولید می شود. تولید بی وقفه زباله امری غیرقابل اجتناب در جوامع شهری است و کشورها روز به روز همزمان با صنعتی تر شدن، با مساله دفع و انهدام صحیح زباله ها روبه رو هستند، آنچه که اخیرا مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، سرنوشت محصولات و کالاهای صنعتی نزد مشتریان است که منجر به ایجاد مفهوم زنجیره تامین معکوس شده است. مدیریت زنجیره تامین معکوس مستلزم مدیریت کاراو موثر یکسری فعالیتها جهت بازگرداندن محصولات، قطعات و مواد نزد مشتری به منظور بهبود ارزش آنها می باشد.

مفهوم مهمی که امروزه در محیط زیست مطرح هست مدیریت بازیافت انواع پسماندها از جمله پسماندهای صنعتی است. بازیافت به معنی استفاده از کالاهای مصرف شده یا زباله‌های صنعتی جهت تبدیل مجدد آنها به یک کالای قابل استفاده می باشد. مثلاً کاغذ مصرف شده بعد از طی مراحل بازیافت به کاغذ روزنامه و شانه های تخم مرغ تبدیل می شود. اولین نکته این است که منابع محدود و تجدید ناپذیر هستند و در نهایت روزی این منابع تمام می شود. بازیافت کالاها باعث می شود، کمتر از این منابع خام استفاده شود. دومین فایده آن این است که در مصرف انرژی هم صرفه جویی می شود و انرژی کمتری برای ساخت یک کالا مصرف می شود. سومین فایده آن این است که باعث می شود زباله های کمتری وارد محیط زیست شوند و علاوه بر ایجاد ظاهری نازیبا در طبیعت، عوارض جبران ناپذیری از خود بر جای می گذارد.

عملیات مدیریت پسماند و طراحی شبکه برای صنعت خودرو در بعضی موضوعات بی شباهت به صنایع دیگر هستند. این تفاوت اساساً از ساختار پیچیده زنجیره تأمین در صنعت خودرو می آید. تعداد زیادی از بخش‌ها در زنجیره تأمین قرار دارند که کنترل و مدیریت شبکه معکوس را دشوار می کند. بعلاوه سفارشی سازی بالا در خودروها باعث می شود قطعات یا اجزاء مشابه نبوده و به این دلیل، پیش بینی بازیافت قطعات یا مواد دشوار است. موضوع بحرانی دیگر، پیچیدگی تکنیکی است. یک خودرو شامل چندین هزار قطعات و انواع گوناگون مواد مانند مواد آهنی / غیر آهنی، پلاستیک ها، منسوجات، غیره است و بنابراین تعداد زیادی از بخش‌ها در زنجیره تأمین درگیر هستند. همچنین عملیات جداسازی خودروهای EOL^۱ یا خودروهای کارکرده در مقایسه با بخش‌های دیگر نیازمند ابزارها در مقیاس بزرگ و تکنیک‌های پیاده سازی در سطح بالا هستند.

نگرانیهای زیست محیطی و همچنین زنجیره تأمین مدیریت پسماند، مفهوم مدیریت زنجیره تأمین معکوس را یادآوری میکند. با توجه به اهمیت موضوعه مطرح شده، در این مقاله به ارائه مدل یکپارچه زنجیره تأمین معکوس گردآوری و مدیریت پسماندهای خودروهای فرسوده پرداخته میشود، در این راستا یک مدل ریاضی چندهدفه طراحی شده و حل می گردد.

۲- پیشینه تحقیقات

امروزه مدیریت پسماند جایگاه ویژه ای دارد. استفاده از پسماند های صنعتی دارای مزایای بسیاری برای دولت ها و صنایع می باشد، از اینرو محققان زیادی به بررسی مدیریت پسماند و گردآوری خودروهای فرسوده پرداخته اند. از جمله، هوگلند و ستنیس^۲ (۲۰۱۰) مطالعه تحت عنوان ارزیابی و تجزیه و تحلیل سیستم مدیریت مواد زاید صنعتی انجام دادند، که در این مطالعه سیستم مدیریت پسماند در سوئد مورد بررسی قرار گرفت. ساسیکومار^۳ و همکارانش (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای حداکثر سازی سود شبکه لجستیک معکوس چند سطحی ارائه کردند و همچنین یک مطالعه موردی واقعی از بازتولید تیر کامیون برای بخش بازار ثانویه انجام دادند. جهت حل مدل نیز از نرم افزار لینگو^۴ استفاده شده است. آچیللاس^۵ و همکاران (۲۰۱۰) یک ابزار پشتیبانی تصمیم برای قانون گذاران جهت بهینه سازی شبکه زنجیره تأمین معکوس محصولات الکترونیکی ارائه کردند. جهت تأثیر گذاری، یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط که شالوده موجود، نقاط جمع آوری و تسهیلات بازیافت را مدنظر قرار دهد ارائه شده است. محمودزاده و همکاران (۲۰۱۱) به ارائه مدل گردآوری خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن لجستیک طرف سوم پرداخته اند. آنها برای این مسئله یک مدل تک هدفه با هدف کمینه سازی هزینه های شبکه ارائه دادند که جهت بررسی اعتبار مدل، یک مثال عدد طراحی کرده و با نرم افزارهای ریاضی حل نمودند.

¹ End of life

² Hogland & Stenis.

³ Sasikumar

⁴ Lingo

⁵ Achillas

اینه و اوزترک (۲۰۱۵) به مدلسازی مسئله لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده پرداخته اند. آنها یک مدل ریاضی تک هدفه با هدف بیشینه سازی سود شبکه ارائه داده و مدل را با استفاده از نرم افزار LINGO استفاده کرده اند. یو و سولوانگ^۱ (۲۰۱۶) یک مدل چندهدفه برای شبکه لجستیک معکوس برای جمع آوری و استفاده مجدد محصولات جهت تصمیم گیری در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی ارائه داده اند. ژو^۲ و همکاران (۲۰۱۷) به طراحی شبکه زنجیره تامین معکوس برای مدیریت پسماندهای جامد در شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی پرداخته اند. در این مقاله، به طراحی زنجیره تامین معکوس مدیریت پسماند جامد با تأکید ویژه بر سه جنبه پرداخته شده است: (۱) عدم اطمینان از سطح جمع آوری زباله، (۲) انتشار کربن و (۳) چالش های مطرح شده در جنبه جهانی زنجیره تامین، به ویژه هزینه های حمل و نقل دریایی و نرخ ارز. آنها یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح خطی مختلط بصورت بهینه سازی استوار طراحی کرده و مدل را در یک مطالعه موردی مدیریت پسماندهای الکترونیکی اجرا نمودند [۱ و ۷ و ۹].

ربانی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی برای مدیریت پسماند جامد شهری با در نظر گرفتن ملاحظات محیطی ارائه کرده اند. در این مطالعه، مدل ارائه شده دو هدفه بوده که اهداف آن شامل به حداقل رساندن هزینه سیستم و تأثیرات زیست محیطی است. آنها جهت حل مدل از الگوریتم NSGA-II کردند و نتایج حل مدل آنها نشان داد، با افزایش حجم زباله، کل هزینه های سیستم بصورت نمایی افزایش میابد. وانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی مسئله بهینه سازی لجستیک معکوس برای به اشتراک گذاشتن دوچرخه و بازیابی دوچرخه ها پرداخته اند. آنها یک مدل ریاضی ارائه دادند و یک الگوریتم ژنتیک شبیه سازی شده ژنتیکی اصلاح شده (MGSA) برای حل این مدل استفاده شده است. نتایج محاسبه اثربخشی MGSA را تأیید می کند [۱۰ و ۱۷].

لین^۴ و همکاران (۲۰۱۸) برای مسئله مکانیابی، تخصیص در شبکه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده یک مدل ریاضی با هدف کمینه سازی هزینه های مکانیابی و تخصیص ارائه دادند. همچنین آنها جهت حل مدل، الگوریتم بهبود یافته کلونی زنبور را ارائه کردند. ژیاو^۵ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی مسئله مکانیابی، تخصیص در شبکه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن انتشار گازهای آلاینده پرداخته و یک مدل تک هدفه با هدف کمینه سازی هزینه های مکانیابی، تخصیص و انتشار گازهای آلاینده ارائه دادند. مدل آنها بر پایه سناریو بوده و جهت حل آن از نرم افزار لینگو استفاده نمودند. کاساکی^۶ و همکاران (۲۰۱۹) به ارائه مدل برنامه ریزی بهینه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده و بازیافت قطعات آنها با در نظر گرفتن تامین فازی پرداخته و برای آن یک مدل ریاضی تک هدفه با هدف کمینه سازی هزینه های شبکه ارائه دادند. اولاپیریاکور^۷ و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی چند هدفه برای شبکه مدیریت پسماند با در نظر گرفتن توسعه پایدار ارائه داده اند. آنها یک مدل بهینه سازی چند هدفه را برای طراحی زنجیره تامین مدیریت پسماند مقرون به صرفه پیشنهاد دادند. کروکی^۸ و همکاران (۲۰۲۰) نیز مسئله مکانیابی، مسیریابی در سیستم بازیافت با هدف بهبود اثربخشی اقتصادی را بررسی و مدلسازی نمودند. سیستم بازیافت آنها شامل نقاط تسهیلاتی است که به بازیافت و انهدام قطعات مربوط به خودروهای فرسوده می پردازد. آنها یک مدل ریاضی تک هدفه برای این مسئله ارائه داده و از نرم افزارهای ریاضی جهت حل آن استفاده کردند. پیتاکاسو^۹ و همکاران (۲۰۲۰) مسئله مکانیابی، مسیریابی سبز در یک سیستم دو سطحی را بررسی کردند. آیدین^{۱۰} (۲۰۲۰) به طراحی شبکه لجستیک معکوس مدیریت ساختمانهای فرسوده جهت آمادگی برای بروز بلایای نامشخص پرداخته اند. آنها برای

¹ Yu & Solvang

² Xu

³ Wang

⁴ Lin

⁵ Xiao

⁶ Kuşakcı

⁷ Olapiriyakul

⁸ Kuroki

⁹ Pitakaso

¹⁰ Aydin

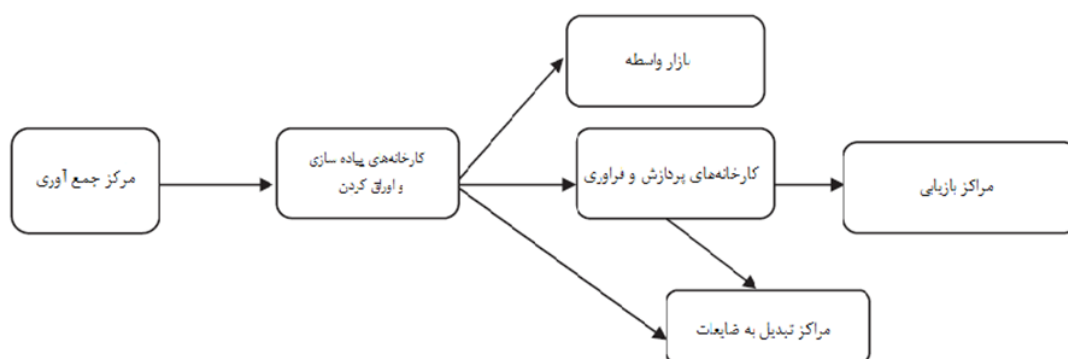
این مسئله یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط تصادفی ارائه داده و مدل را برای ساختمانهای فرسوده شهر استانبول اجرا نمودند. صفدر^۱ و همکاران (۲۰۲۰) نیز مسئله طراحی شبکه لجستیک معکوس مدیریت پسماندهای الکترونیکی را بررسی نمودند. آنها یک مدل ریاضی ارائه دادند که در این مدل مشتریان اول، مراکز جمع آوری، مراکز توزیع، مشتری دوم و مراکز پردازش مجدد متشکل از مراکز ارزیابی بازگشت، مراکز بازیافت و مراکز نوسازی در نظر گرفته شده است. همچنین این مدل دارای اهداف حداکثرسازی سود، حداقل سازی میزان انتشار کربن و همچنین به حداکثر رساندن فرصت های شغلی در یک شبکه لجستیک معکوس است [۲-۴].

۳- مبانی نظری پژوهش و مدل سازی ریاضی

در این مقاله مدیریت پسماند خودروهای فرسوده و طراحی شبکه لجستیک معکوس برای گردآوری خودروهای فرسوده بررسی شده است. شبکه لجستیک معکوس خودروهای مرجوعی، با دریافت خودرو از مشتری ها در مراکز جمع آوری شروع می شود. مرحله بعد، حمل خودروهای مرجوعی به کارخانه های پیاده سازی است. در کارخانه های پیاده سازی، مایعات بیرون کشیده شده و جداسازی انجام می شود. سوخت خودرو، روغن موتور، روغن جعبه دنده، روغن هیدرولیک، سرد کننده، مایع دستگاه تهویه مطبوع، مایع ترمز و مایع فرمان از خودروهای EOL کشیده می شود. مواد خطرناک مانند انباشتگرها، باتری ها، ایربگ ها (کیسه های هوا)، فیلترهای شیمیایی دودگیر متصل به لوله اگزوز، قطعات شامل جیوه و لنت های ترمز شامل نوعی سنگ معدن، از خودروهای EOL جداسازی شده اند. بعلاوه، قطعات قابل استفاده مجدد مانند موتور، دیفرانسیل، جعبه دنده، قطعات بدنه (مثال: کاپوت ماشین، درها و سپرهای اتومبیل) و چرخ ها در این مرکز جداسازی و دمونتاژ می شوند. قطعات قابل استفاده مجدد خودرو بعد از عملیات نوسازی به بازار واسطه حمل می شوند. مایعات زائد خطرناک و مواد خطرناک دیگر به مراکزهای تبدیل به ضایعات حمل می شوند. خودروهایی که دمونتاژ نشده اند و مایعات زائد آن خارج شده، به کارخانه های پردازش و فرآوری حمل می شوند. بعد از تکه و خرد شدن، فلزهای قراضه (سرب، روی، مس و آلومینیوم) آهنی و غیر آهنی و مواد شکستنی بدست می آیند. این مواد به مراکز بازیابی و تبدیل به ضایعات حمل می شوند.

در این مطالعه، یک شبکه لجستیک معکوس با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی یکپارچه عدد صحیح چندهدفه طراحی شده است. مدل پیشنهادی، محل و تعداد کارخانه های پیاده سازی و اوراق کردن و کارخانه های پردازش و فرآوری را تعیین می کند و جریان مواد را بین مراکز جمع آوری / اولیه، کارخانه های پیاده سازی و اوراق، کارخانه های پردازش و فرآوری، بازارهای واسطه و مراکز بازیابی و تبدیل به ضایعات را تخصیص می دهد. همچنین در این مدل، علاوه بر مکانیابی، مسیریابی و مسائل نقلیه نیز لحاظ شده است [۵ و ۸ و ۱۱].

ساختار شبکه لجستیک معکوس چند زمانه، چند مرحله ای برای خودروهای EOL در شکل (۱) نشان داده شده است. مجموعه متغیرهای تصمیم گیری پارامترها و محدودیت های استفاده شده در مدل، در زیر تعریف شده اند:



شکل ۱- ساختار شبکه لجستیک معکوس چند زمانه، چند مرحله ای برای خودروهای EOL

¹ Safdar

۳-۱- اندیس ها

I	$\forall i \in I \forall i \in I$ و اندیس نشان دهنده مراکز جمع آوری / اولیه
J	$\forall j \in J \forall j \in J$ و اندیس نشان دهنده محل های بالقوه کارخانه پیاده سازی اوراق کردن
K	$\forall k \in K \forall k \in K$ و اندیس نشان دهنده محل های کارخانه پردازش و فرآوری بالقوه
L	$\forall l \in L \forall l \in L$ و اندیس نشان دهنده مراکز بازیابی
M	$\forall m \in M \forall m \in M$ و اندیس نشان دهنده مراکز تبدیل به ضایعات
N	$\forall n \in N \forall n \in N$ و اندیس نشان دهنده محل های بازار واسطه
T	$\forall t \in T \forall t \in T$ و اندیس نشان دهنده دوره های زمانی
P	$\forall p \in P \forall p \in P$ و اندیس نشان دهنده قطعات یدکی خودرو
V	$\forall v \in V \forall v \in V$ و اندیس نشان دهنده وسیله نقلیه

۳-۲- پارامترها

$\tilde{c}_j \tilde{c}_j$	هزینه فازی راه اندازی کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj
$\tilde{c}_k \tilde{c}_k$	هزینه فازی راه اندازی کارخانه پردازش و فرآوری kk
$\tilde{c}_{ap_j} \tilde{c}_{ap_j}$	ظرفیت فازی کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj
$\tilde{c}_{ap_k} \tilde{c}_{ap_k}$	ظرفیت فازی کارخانه پردازش و فرآوری kk
$\tilde{c}_{ap_l} \tilde{c}_{ap_l}$	ظرفیت فازی مرکز بازیابی ll
$\tilde{c}_{ap_m} \tilde{c}_{ap_m}$	ظرفیت فازی مرکز تبدیل به ضایعات mm
$ct_{ij} ct_{ij}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از مرکز جمع آوری / اولیه ii به کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj
$ct_{jk} ct_{jk}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن j به کارخانه پردازش و فرآوری k
$ct_{jn} ct_{jn}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj به محل بازار واسطه nn
$ct_{kl} ct_{kl}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از کارخانه پردازش و فرآوری kk به مرکز بازیابی ll
$ct_{km} ct_{km}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از کارخانه پردازش و فرآوری kk به مرکز تبدیل به ضایعات mm
$ct_{jm} ct_{jm}$	هزینه حمل و نقل هر واحد از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن j به مرکز تبدیل به ضایعات mm
$cost_v cost_v$	هزینه زیست محیطی استفاده از وسیله نقلیه V در واحد مسافت
$cdcd$	هزینه تبدیل به ضایعات به ازای هر واحد
$cvcv$	هزینه ایجاد انگیزه برای بازگرداندن هر واحد خودرو به مراکز جمع آوری
$oc_{jt} oc_{jt}$	هزینه عملیات هر واحد برای کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj در بازه زمانی tt
$oc_{kt} oc_{kt}$	هزینه عملیات هر واحد برای کارخانه پردازش و فرآوری kk در بازه زمانی tt
$r_p r_p$	سود هر واحد از قطعه یدکی قابل استفاده مجدد خودرو
$rrrr$	سود هر واحد از محصولات بازیابی شده
$e_{it} e_{it}$	تعداد خودروهای پذیرش شده به وسیله مرکز جمع آوری / اولیه ii در بازه زمانی tt

$k_1 k_1$	میزان مواد حمل شده از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن به مرکز تبدیل ضایعات
$k_1 k_2$	میزان مواد حمل شده از کارخانه پردازش و فرآوری به مرکز تبدیل به ضایعات
$aw_1 aw_1$	وزن متوسط خودرو
$aw_2 aw_2$	وزن متوسط خودرو پیاده‌سازی شده
$q_p q_p$	تعداد قطعات یدکی در هر خودرو
$v_p v_p$	میزان قطعات قابل استفاده مجدد در هر خودرو
$EI_j EI_j$	اثرات محیط‌زیستی عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$EI_k EI_k$	اثرات محیط‌زیستی عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در کارخانه پردازش و فرآوری kk
$EI^T EI^T$	اثرات محیط‌زیستی حمل واحد خودرو فرسوده در کیلومتر
$d_{ij} d_{ij}$	فاصله بین مرکز جمع‌آوری / اولیه ii و کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$d_{jk} d_{jk}$	فاصله بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj و کارخانه پردازش و فرآوری kk
$d_{jn} d_{jn}$	فاصله بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj و محل بازار واسطه nn
$d_{kl} d_{kl}$	فاصله بین کارخانه پردازش و فرآوری kk و مرکز بازیابی ll
$d_{jm} d_{jm}$	فاصله بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj و مرکز تبدیل به ضایعات mm
$d_{km} d_{km}$	فاصله بین کارخانه پردازش و فرآوری kk و مرکز تبدیل به ضایعات mm
$W_{em} W_{em}$	وزن نرمال شده استخدام
$W_{id} W_{id}$	وزن نرمال شده توسعه محلی
$W_{dm} W_{dm}$	وزن نرمال شده وضعیت کاری پرخطر
$W_{pr} W_{pr}$	وزن نرمال شده ریسک محصول
$EM_j EM_j$	امتیاز استخدام کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$Ld_j Ld_j$	امتیاز توسعه محلی کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$DM_j DM_j$	امتیاز آسیب به کارگر کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$PR_j PR_j$	ریسک محصول کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن jj
$EM_k EM_k$	امتیاز استخدام کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن kk
$ld_k ld_k$	امتیاز توسعه محلی کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن kk
$DM_k DM_k$	امتیاز آسیب به کارگر کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن kk
$PR_k PR_k$	ریسک محصول کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن kk
	FF را به عنوان مجموعه زیر مجموعه‌های jj برای همه بخش‌ها قرار می‌دهیم.
	$\bullet \in F, SD(o) \bullet \in F, SD(o)$ ، ماکزیمم تعداد کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق کردن برای زیرمجموعه oo را مشخص می‌کند.

۳-۳- متغیرهای تصمیم گیری

$$a_j = \begin{cases} \text{اگر کارخانه پیاده سازی و اوراق در محل } j \text{ راه اندازی گردد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$a_j = \begin{cases} \text{اگر کارخانه پیاده سازی و اوراق در محل } j \text{ راه اندازی گردد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} \text{اگر کارخانه پردازش و فرآوری در محل } k \text{ راه اندازی گردد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} \text{اگر یک جریان بین جمع آوری / اولیه تبه کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن وجود داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{ijvt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین جمع آوری / اولیه تبه کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{jkvt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین کارخانه پیاده سازی } j \text{ و کارخانه پردازش } k \text{ سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{jnpt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین کارخانه پیاده سازی } j \text{ و بازار واسطه } n \text{ سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{klvt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین کارخانه پردازش } k \text{ و مرکز بازیابی } l \text{ سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{kmvt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین کارخانه پردازش } k \text{ و مرکز تبدیل به ضایعات } m \text{ سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$YV_{jmnt} = \begin{cases} \text{اگر } v \text{ وسیله بین کارخانه پیاده سازی } j \text{ و مرکز تبدیل به ضایعات } m \text{ سفر داشته باشد} \\ \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$x_{ijt} x_{ijt}$ تعداد خودروهای حمل شده از مرکز جمع آوری / اولیه ii به کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj در بازه زمانی tt

$Y_{jkt} Y_{jkt}$ تعداد خودروهای حمل شده از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj به کارخانه پردازش و فرآوری k در بازه زمانی tt

$Z_{jnpt} Z_{jnpt}$ تعداد قطعات یدکی خودرو pp حمل شده از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن j به محل بازار واسطه nn در بازه زمانی tt

$w_{klt} w_{klt}$ مقدار مواد حمل شده از کارخانه پردازش و فرآوری k به مرکز بازیابی ll در بازه زمانی tt برای

$u_{jmt} u_{jmt}$ مقدار مواد حمل شده از کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن jj به مرکز تبدیل به ضایعات mm در بازه زمانی tt برای

$u_{kmt} u_{kmt}$ مقدار مواد حمل شده از کارخانه پردازش و فرآوری kk به مرکز تبدیل به ضایعات mm در بازه زمانی tt

۳-۴- ساختار اصلی مدل

با توجه به نمادسازی انجام شده، مدل بهینه سازی شبکه لجستیک معکوس به صورت زیر فرمول سازی می شود:

$$\begin{aligned}
 Max z = & \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T z_{jnpt} r_p + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T w_{klt} r_r - \sum_{j=1}^J a_j \tilde{c}_j - \sum_{k=1}^k b_k \tilde{c}_k - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} c_U \\
 & - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} o_{Cjt} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T y_{jkt} o_{Ckt} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} c_{t_{ij}} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T y_{jkt} c_{t_{jk}} \\
 & - \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T z_{jnpt} c_{t_{jn}} - \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T w_{klt} c_{t_{kl}} - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{jmt} c_{t_{jm}} \\
 & - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{kmt} c_{t_{km}} - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{jmt} c_d - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{kmt} c_d
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$Min z_r = \sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} EI_k + \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} EI_j$$

$$\begin{aligned}
 + EI^{CT} \left[\sum_i \sum_j \sum_v \sum_t cost_v YV_{ijvt} X_{ijt} d_{ij} + \sum_j \sum_k \sum_v \sum_t cost_v YV_{jkvt} Y_{jkt} d_{jk} \right. \\
 + \sum_j \sum_n \sum_v \sum_t cost_v YV_{jnpt} Z_{jnpt} d_{jn} + \sum_k \sum_l \sum_v \sum_t cost_v YV_{kltv} W_{klt} d_{kl} \\
 \left. + \sum_j \sum_m \sum_v \sum_t cost_v YV_{jmv} U_{jmt} d_{jm} + \sum_k \sum_m \sum_v \sum_t cost_v YV_{kmv} U_{kmt} d_{km} \right]
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 Max z_r = & \sum_j \sum_t (W_{em} EM_{jt} + W_{id} l d_j + W_{dm} DM_j + W_{pr} PR_j) a_j \\
 & + \sum_k \sum_t (W_{em} EM_{kt} + W_{id} l d_k + W_{dm} DM_k + W_{pr} PR_k) b_k
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$x_{ijt} = e_{it} a_{ij} \forall i, j, t \quad x_{ijt} = e_{it} a_{ij} \forall i, j, t \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} = 1 \forall i \quad \sum_{j=1}^J a_{ij} = 1 \forall i \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_j a_j \forall j, t \quad \sum_{i=1}^I x_{ijt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_j a_j \forall j, t \tag{6}$$

$$\sum_{j \in O} a_j \leq SD(O) - \forall O \in F \quad \sum_{j \in O} a_j \leq SD(O) - \forall O \in F \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jkt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_k b_k \forall k, t \quad \sum_{j=1}^J y_{jkt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_k b_k \forall k, t \tag{8}$$

$$\sum_{k=1}^K w_{klt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_l \forall l, t \quad \sum_{k=1}^K w_{klt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_l \forall l, t \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^J u_{jmt} + \sum_{k=1}^K u_{kmt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_m \forall m, t \quad \sum_{j=1}^J u_{jmt} + \sum_{k=1}^K u_{kmt} \leq \tilde{c} \tilde{a} p_m \forall m, t \tag{10}$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} = \sum_{k=1}^K y_{jkt} \forall j, t \quad \sum_{i=1}^I x_{ijt} = \sum_{k=1}^K y_{jkt} \forall j, t \tag{11}$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} a w_1 k_1 = \sum_{m=1}^M u_{jmt} \forall j, t \quad \sum_{i=1}^I x_{ijt} a w_1 k_1 = \sum_{m=1}^M u_{jmt} \forall j, t \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} q_p v_p = \sum_{n=1}^N z_{jnpt} \forall j, p, t \quad \sum_{i=1}^I x_{ijt} q_p v_p = \sum_{n=1}^N z_{jnpt} \forall j, p, t \tag{13}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jkt} a w_r (1 - k_r) = \sum_{l=1}^L w_{klt} \forall k, t \quad \sum_{j=1}^J y_{jkt} a w_r (1 - k_r) = \sum_{l=1}^L w_{klt} \forall k, t \tag{14}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jkt} a w_r k_r = \sum_{m=1}^M u_{kmt} \forall k, t \quad \sum_{j=1}^J y_{jkt} a w_r k_r = \sum_{m=1}^M u_{kmt} \forall k, t \tag{15}$$

$$x_{ijt} \geq H \times \sum_v YV_{ijvt} \quad \forall i, j, t \quad (16)$$

$$Y_{jkt} \geq H \times \sum_v YV_{jkvt} \quad \forall j, k, t \quad (17)$$

$$Z_{jnpt} \geq H \times \sum_v YV_{jnpt} \quad \forall i, j, p, t \quad (18)$$

$$W_{klt} \geq H \times \sum_v YV_{klvt} \quad \forall l, k, t \quad (19)$$

$$u_{jmt} \geq H \times \sum_v YV_{jmnt} \quad \forall j, m, t \quad (20)$$

$$u_{kmt} \geq H \times \sum_v YV_{kmvt} \quad \forall k, m, t \quad (21)$$

$$\sum_i YV_{ijvt} = \sum_k YV_{jkvt} + \sum_n YV_{jnpt} + \sum_m YV_{jmnt} \quad \forall j, v, t \quad (22)$$

$$\sum_j YV_{jkvt} = \sum_l YV_{klvt} + \sum_m YV_{kmvt} \quad \forall k, v, t \quad (23)$$

$$x_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{jnpt}, W_{klt}, u_{jmt}, u_{kmt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m, l, n, t \quad (24)$$

$$a_j, b_k, \alpha_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad a_j, b_k, \alpha_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad (25)$$

تابع هدف (۱) سود نهایی شبکه را نشان می‌دهد. تابع هدف (۲) اثرات محیط زیست شبکه را نشان می‌دهد و تابع هدف (۳) سود اجتماعی را نشان می‌دهد محدودیت (۴) ملزم می‌کند که همه خودروهای پذیرش شده به وسیله مراکز جمع‌آوری / اولیه در هر بازه زمانی، باید در آن بازه زمانی پردازش شوند. محدودیت (۵)، یکتا و منحصر به فرد بودن جریان از یک مرکز جمع‌آوری / اولیه به یک کارخانه پیاده‌سازی و اوراق کردن را تضمین می‌کند.

محدودیت (۶)، عدم تجاوز تعداد نهایی خودروهای حمل شده به کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق کردن از ظرفیت کارخانه‌ها در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۷)، تعداد کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق کردن که در هر بخش راه‌اندازی می‌شود را محدود می‌کند. محدودیت (۸)، عدم تجاوز تعداد نهایی خودروهای حمل شده به کارخانه‌های پردازش و فرآوری از ظرفیت‌های کارخانه‌ها در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۹) و (۱۰)، عدم تجاوز مقدار نهایی مواد حمل شده به مراکز بازیابی و تبدیل به ضایعات از ظرفیت‌های مراکز در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۱) و (۱۲)، سازگاری میزان خودرو پیاده‌سازی شده و مواد حمل شده به کارخانه‌های پردازش و فرآوری و مراکز تبدیل به ضایعات، به ترتیب، برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۳)، سازگاری تعداد قطعات یدکی خودرو حمل شده به بازار واسطه برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۴)، حمل میزان‌های مواد از کارخانه‌های پردازش و فرآوری به مراکز بازیابی برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۵)، سازگاری میزان‌های مواد حمل شده از کارخانه‌های پردازش و فرآوری به مراکز تبدیل به ضایعات برای هر بازه زمانی tt را تضمین می‌کند. محدودیت‌های (۱۶) تا (۲۱) تضمین می‌کنند که در صورتی بین دو مرکز مواد جابجا می‌گردد که یک وسیله نقلیه برای سفر بین مراکز تخصیص داده شده باشد. محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) تضمین می‌کنند که یک وسیله نقلیه زمانی وارد یک مرکز شود، حتماً از آن مرکز خارج شود. محدودیت (۲۴) بالاتر از صفر بودن ارزش متغیرهای تصمیم‌گیری $X_{ijt}, Y_{jkt}, Z_{jnpt}, W_{klt}, u_{jmt}, u_{kmt}$ را تضمین می‌کند و محدودیت (۲۵) صفر و یک بودن ارزش متغیرهای تصمیم‌گیری a_j, b_k و α_{ij} را معین می‌کند.

۳-۵- دیفازی کردن مدل

در مدل ارائه شده، مشاهده شد که پارامترهای ظرفیت و هزینه احداث تسهیلات بصورت اعداد فازی در نظر گرفته شده است. همچنین جهت دیفازی کردن مدل از روش رتبه بندی اعداد فازی که توسط جیمنز (۲۰۰۷) ارائه شده، استفاده گردید. مدل برنامه ریزی فازی ارائه شده را به مدل قطعی نظیرش بصورت زیر تبدیل شد:

شکل قطعی تابع هدف اول:

$$\begin{aligned}
 Max z = & \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T z_{jnpt} r_p + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T w_{klt} r_r - \sum_{j=1}^J a_j \left[\frac{c_j^i + \tau c_j^r + c_j^r}{\varphi} \right] - \sum_{k=1}^K b_k \left[\frac{c_k^i + \tau c_k^r + c_k^r}{\varphi} \right] \\
 & - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} c_{i,j,t} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} o_{c,j,t} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T y_{jkt} o_{c,k,t} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{ijt} c_{i,j,t} \\
 & - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T y_{jkt} c_{t,j,k} - \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T z_{jnpt} c_{t,j,n} - \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T w_{klt} c_{t,k,l} \\
 & - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{jmt} c_{t,j,m} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{kmt}^r c_{t,k,m} - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{jmt} c_d \\
 & - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T u_{kmt} c_d
 \end{aligned} \tag{26}$$

شکل قطعی محدودیت (۶):

$$\sum_{i=1}^I x_{ijt} \leq \left[\alpha \frac{cap_j^i + cap_j^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_j^i + cap_j^r}{\varphi} \right] a_j \forall j, t \quad \sum_{i=1}^I x_{ijt} \leq \left[\alpha \frac{cap_j^i + cap_j^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_j^i + cap_j^r}{\varphi} \right] a_j \forall j, t \tag{27}$$

شکل قطعی محدودیت (۸):

$$\sum_{j=1}^J y_{jkt} \leq \left[\alpha \frac{cap_k^i + cap_k^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_k^i + cap_k^r}{\varphi} \right] b_k \forall k, t \quad \sum_{j=1}^J y_{jkt} \leq \left[\alpha \frac{cap_k^i + cap_k^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_k^i + cap_k^r}{\varphi} \right] b_k \forall k, t \tag{28}$$

شکل قطعی محدودیت (۹):

$$\sum_{k=1}^K w_{klt} \leq \alpha \frac{cap_l^i + cap_l^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_l^i + cap_l^r}{\varphi} \forall l, t \quad \sum_{k=1}^K w_{klt} \leq \alpha \frac{cap_l^i + cap_l^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_l^i + cap_l^r}{\varphi} \forall l, t \tag{29}$$

شکل قطعی محدودیت (۱۰):

$$\sum_{j=1}^J u_{jmt} + \sum_{k=1}^K u_{kmt} \leq \alpha \frac{cap_m^i + cap_m^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_m^i + cap_m^r}{\varphi} \forall m, t \quad \sum_{j=1}^J u_{jmt} + \sum_{k=1}^K u_{kmt} \leq \alpha \frac{cap_m^i + cap_m^r}{\varphi} + (1 - \alpha) \frac{cap_m^i + cap_m^r}{\varphi} \forall m, t \tag{30}$$

۴- روش حل

در تحقیق حاضر ابتدا یک مدل ریاضی سه هدفه ارائه شد و با توجه به NP-HARD بودن مسئله لجستیک معکوس (ژبائو و همکاران، ۲۰۱۹)، جهت حل مدل از الگوریتم بهینه سازی دسته میگوها استفاده گردیده است. و با مقایسه الگوریتم فراابتکاری دسته میگوها با الگوریتم شناخته شده NSGA-II، عملکرد آن بطور علمی و عملی برای مسئله مورد بررسی، ارزیابی گردید.

۴-۱- الگوریتم بهینه سازی دسته میگوها KHA

این الگوریتم بر پایه واکنش به نیاز زیستی و عملیات محیطی گله میگوها Kril herd algorithm که به اختصار KHA نامیده می شود، شبیه سازی می شود. این الگوریتم در سال (۲۰۱۲) توسط گندمی و علوی ارائه شد. این الگوریتم جزو دسته الگوریتم

های هوش ازدحامی دسته بندی شده و حرکت دسته جمعی میگوها برای یافتن غذا را بررسی میکند. تابع برازندگی هر میگو منحصر به فرد است و بصورت فاصله میگو از غذا و جمعیت میگوها در نظر گرفته میشود. همانطور که گفته شد، الگوریتم براساس حرکت های میگوها به سمت غذا طراحی گردیده است. انواع حرکت های میگو به شرح زیر هستند:

- جنبش ناشی از حرکت گله میگوها (حرکت سایر میگوها)
- حرکت برای یافتن غذا
- حرکت تصادفی

$$x_i^{t+1} = N_i^t + F_i^t + D_i^t \quad (31)$$

بنابراین، الگوریتم در هر مرحله باید موقعیت جدید هر میگو را پیدا کند که این موقعیت به سه حرکت میگو که در بالا اشاره شد، بستگی دارد.

۴-۱-۱- جنبش ناشی از حرکت گله میگوها (حرکت سایر میگوها)

میگوها علاقمند به حفظ تراکم بالا دارند، پس حرکتی ناشی از اثرات متقابل خودشان دارند.

- ۱- جهت حرکت ناشی از تخمینی از تراکم محلی ذرات (اثر محلی)
- ۲- هدف تراکم ذرات (اثر هدف)
- ۳- تراکم ذرات دفع کننده (اثر دافعه)

$$n_i^{new} = n_i^{max} \alpha_i + w_n n_i^{old} \quad (32)$$

که در رابطه بالا:

$$\alpha_i = \alpha_i^{local} + \alpha_i^{target} \quad (33)$$

n_i^{max} : بزرگترین سرعت تحریک

w_n : وزن اینرسی ناشی از حرکت در محدوده ۰ و ۱

n_i^{old} : حرکت قبلی

α_i^{local} : اثر محلی توسط همسایهها

α_i^{target} : اثر جهت هدف توسط بهترین میگو

α_i : مجموع اثرات همسایه و هدف

همچنین داریم:

$$\alpha_i^{local} = \sum_k k_{ij} x_{ij} \quad (34)$$

در رابطه بالا، k_{ij} اختلاف بین برازندگی دو میگو i و j را نشان میدهد و x_{ij} فاصله بین آنها را. اثر یک همسایه میتواند مثبت یا منفی باشد (دافعه یا جاذبه).

همسایه: به تعدادی از میگوهای نزدیک همسایه می گویند.

سنجش فاصله برای هر میگو با استفاده از روشهای اکتشافی:

$$d_{si} = \frac{1}{\Delta 0} \sum_j |x_j - x_i| \quad (35)$$

اگر فاصله دو میگو کمتر از فاصله سنجش تعریف شده باشد، آن دو میگو همسایه اند. همچنین اثر هدف بصورت زیر محاسبه میگردد:

$$\alpha_i^{target} = c^{best} k_i^{best} x_i^{best} \quad (36)$$

ضریب اثرگذاری میگوها با بهترین برازندگی به i امین میگو $c^{best} c^{best}$ از آنجایی که اثر هدف، راه حل را به بهینه سراسری هدایت میکند، پس مؤثرتر از اثر همسایه ها و دیگر میگوهاست.

$$c^{best} = r \left(rand + \frac{I}{I_{max}} \right), rand \in [0, 1] \quad (37)$$

در رابطه (۳۷)، I شماره تکرار جاری الگوریتم و I_{max} حداکثر تعداد تکرار الگوریتم می باشد.

✓ حرکت برای یافتن غذا:

حرکت برای جستجوی غذا در قالب ۲ پارامتر اصلی و مؤثر فرموله می شود:

- مکان غذا

- تجربه قبلی محل غذا

این حرکت برای میگوی i ام بصورت زیر محاسبه می شود:

$$F_i = V_F \beta_i + W_F F_i^{old} \quad (38)$$

$$\beta_i = \beta_i^{best} + \beta_i^{food} \quad (39)$$

V_F : سرعت جستجوی غذا (۰.۰۲ متر بر ثانیه)

W_F : وزن اینرسی برای حرکت جستجوی غذا بین ۰ و ۱

β_i^{food} : غذای جذاب

β_i^{best} : بهترین غذای یافت شده تاکنون توسط میگوی i ام.

اثر مواد غذایی در رابطه با محل آن معین می شود.

$$x^{food} = \frac{\sum_i \frac{1}{k_i} x_i}{\sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (40)$$

بنابراین، جذب مواد غذایی برای میگوی i ام به شرح زیر است:

$$\beta_i^{food} = c^{food} \times k_{i,food} \times x_{i,food} \quad (41)$$

که در آن $c^{food} c^{food}$ ضریب غذا بوده و مطابق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$c^{food} = r \left(1 - \frac{I}{I_{max}} \right) \quad (42)$$

جاذبه غذایی برای جاذبه بالقوه ازدحام میگوها برای بهینه سراسری تعریف می شود. براساس این شناخت افراد میگو بعد از چند مرحله تکرار به طور معمول در اطراف بهینه سراسری تجمع میگوها شکل می گیرد. اثر بهترین برازندگی برای میگوی i ام به شرح زیر است:

$$\beta_i^{best} = k_{i,best} \times x_{i,best} \quad (43)$$

که در آن $k_{i,best} k_{i,best}$ بهترین موقعیت بازدید توسط میگوی i ام است.

۲-۱-۴- حرکت تصادفی

انتشار فیزیکی افراد میگو، پردازش تصادفی در نظر گرفته می شود.

$$D_i = D^{max} \times \delta \quad (44)$$

D^{max} : بالاترین سرعت

δ : بردار مستقیم تصادفی که ماتریسی با مقادیر تصادفی بین ۰ و ۱

اثرات حرکت ناشی از سایر میگوها و حرکت برای بدست آوردن غذا به تدریج با افزایش زمان کاهش می یابد. انتشار فیزیکی یک بردار تصادفی است که با افزایش تعداد تکرار (زمان)، کاهش نمی یابد.

$$D_i = D^{max} \times \left(1 - \frac{I}{I_{max}}\right) \times \delta \quad (45)$$

۲-۴- ساختار پیشنهادی الگوریتم دسته میگوها

در بخش قبل ساختار کلی الگوریتم دسته میگوها ارائه گردید. در این تحقیق جهت حل مدل الگوریتم دسته میگوها بر پایه آرشیو پارتو جهت حل مدل چند هدفه طراحی شده است.

در این مقاله برای نمایش هر جواب از ماتریس استفاده می شود. هر جواب شامل چندین ماتریس است که این ماتریسها مطابق با خروجیهای مدل طراحی میشوند. بعنوان مثال برای متغیر $a_j a_j$ یک ماتریس سطری (یک بعدی) که تعداد درایه های آن برابر با J است تعریف می شود. ماتریس زیر مثالی از این بخش جواب را نشان میدهد (فرض کنید تعداد مکانهای بالقوه کارخانه پیاده سازی اوراق کردن برابر با ۶ باشد و حداکثر مجاز این کارخانه برابر ۴ باشد).

1	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---

شکل ۳- مثال نحوه نمایش متغیر $a_j a_j$

در ماتریس بالا، در مکان ۱، ۳، ۴ و ۶، کارخانه پیاده سازی اوراق کردن برپا گردیده است.

جهت نمایش متغیر $b_k b_k$ نیز از یک ماتریس سطری استفاده شده است که تعداد درایه های آن برابر با K است. ماتریس زیر مثالی از این بخش جواب را نشان میدهد (فرض کنید تعداد مکانهای بالقوه کارخانه پردازش و فراوری برابر با ۵ باشد).

0	1	0	1	1
---	---	---	---	---

شکل ۴- مثال نحوه نمایش متغیر $b_k b_k$

در ماتریس بالا، در مکانهای ۱، ۲ و ۵، کارخانه پردازش و فراوری برپا شده است.

جهت نمایش متغیر $\alpha_{ij} \alpha_{ij}$ از یک ماتریس تک بعدی استفاده گردیده است که تعداد درایه های آن برابر با تعداد مراکز جمع آوری است و مقادیر خانه های آن نشان دهنده شماره کارخانه پیاده سازی اوراق کردن است که مرکز جمع آوری میتواند به آن کالا ارسال کند. فرض کنید تعداد مکانهای بالقوه کارخانه پیاده سازی اوراق کردن برابر با ۶ و تعداد مراکز جمع آوری برابر با ۸ باشد، آنگاه ماتریس زیر یک نحوه نمایش جواب از این متغیر است که با توجه به مثال متغیر $\alpha_{ij} \alpha_{ij}$ ارائه شده است.

4	3	6	4	6	3	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۵- مثال نحوه نمایش متغیر $\alpha_{ij} \alpha_{ij}$

در مثال بالا، مرکز جمع آوری شماره ۱ و ۲ به کارخانه پیاده سازی اوراق کردن شماره ۱ تخصیص داده شده اند؛ مراکز جمع آوری شماره ۳ و ۷ به کارخانه پیاده سازی اوراق کردن شماره ۳؛ مراکز جمع آوری شماره ۴ و ۶ به کارخانه پیاده سازی اوراق کردن شماره ۶؛ مراکز جمع آوری شماره ۵ و ۸ نیز به کارخانه پیاده سازی اوراق کردن ۴ تخصیص داده شده اند.

جهت نمایش متغیر $x_{ijt} x_{ijt}$ از یک ماتریس ۳ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت I^*J^*T است؛ جهت نمایش متغیر $y_{jkt} y_{jkt}$ از یک ماتریس ۳ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت J^*K^*T است؛ جهت نمایش متغیر $w_{klt} w_{klt}$ از یک

ماتریس ۳ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت $K*L*T$ است؛ جهت نمایش متغیر $U_{kmt}U_{kmt}$ از یک ماتریس ۳ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت $K*M*T$ است؛ جهت نمایش متغیر $U_{jmt}U_{jmt}$ از یک ماتریس ۳ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت $J*M*T$ است؛ جهت نمایش متغیر $Z_{jnpt}Z_{jnpt}$ از یک ماتریس ۴ بعدی استفاده شده است که ابعاد آن بصورت $J*N*P*T$ است [۱۸-۲۰].

• نحوه تولید جوابهای اولی^۱

در این مقاله، ۳ عملگر بصورت عملگر جستجوی همسایگی موازی استفاده شده اند. در هر کدام از توابع جستجوی همسایگی، یک جواب بعنوان جواب اولیه به تابع مربوطه ارسال شده و در قدم ۱، عملگر مربوطه بر روی جواب اعمال می شود و همسایگی جواب بدست می آید. پس از تولید کلیه جوابهای همسایگی، با توجه به قاعده دب (دب، ۲۰۰۲) جواب با کیفیت بالاتر و پراکندگی بالاتر، انتخاب گردیده و در صورت تکراری نبودن به جمعیت جوابهای اولیه اضافه می شود. در ادامه، ابتدا عملگرهای جستجوی جواب و سپس، ترکیب موازی آنها بعنوان رویه جستجوی همسایگی موازی شرح داده شده است.

✓ شرح ۳ عملگر جستجوی جواب:

عملگر ۱: دو اندیس j_1 و j_2 به تصادف در بازه یکنواخت $[J..1]$ [J تعداد بالقوه کارخانه اوراق کردن] تولید شده و در ماتریس جواب متغیر $a_{j_1j_2}$ ، مقادیر خانه های j_1 و j_2 با یکدیگر تعویض میشوند. سپس با توجه به تغییر کارخانه های اوراق کردن برپا شده، سایر متغیرها اصلاح میشوند (از جمله مقادیر متغیر $a_{ij}a_{ij}$). همچنین مقادیر کلیه متغیرهای دیگر مدل با توجه به محدودیتهای مدل بررسی میگردند و با توجه به مراکز اوراق کردن برپا شده و نحوه تخصیص مراکز جمع آوری به این کارخانه ها و همچنین ظرفیت مکان های برپا شده، بازنگری شده و دوباره مقدار دهی می گردند.

عملگر ۲: دو اندیس i_1 و i_2 به تصادف در بازه یکنواخت $[I..1]$ [I تعداد مراکز جمع آوری] تولید شده و در ماتریس سطری مربوط به متغیر $a_{ij}a_{ij}$ مقادیر در خانه شماره i_1 و i_2 با توجه به محدودیت ظرفیت مراکز اوراق کردن با یکدیگر تعویض میشوند. سپس مقادیر سایر متغیرها با توجه به تغییر تخصیص مراکز جمع آوری به کارخانه های اوراق کردن با در نظر گرفتن محدودیتهای مدل، دوباره مقدار دهی میگردند.

عملگر ۳: دو اندیس k_1 و k_2 به تصادف در بازه یکنواخت $[K..1]$ [K تعداد مکانهای بالقوه کارخانه پردازش و فرآوری] تولید شده و در ماتریس مربوط به متغیر $b_k b_k$ خانههای شماره k_1 و k_2 با یکدیگر تعویض میشوند و سپس با توجه به ظرفیت کارخانه پردازش و فرآوری در نقاط برپا شده، مقادیر متغیرهای مربوطه با در نظر گرفتن محدودیتهای مدل دوباره مقدار دهی می گردند.

۳ عملگر همسایگی شرح داده شده، بر روی تولید شده در تکرار، بطور موازی اعمال می شوند. برای هر جواب، چندین جواب همسایه که در همسایگی آن جواب، بهینه محلی هستند، گزارش می شود. جوابهای گزارش شده، با توجه به قاعده دب جواب با کیفیت بالاتر و پراکندگی بالاتر انتخاب شده و همانطور که قبلا شرح داده شد، در صورت تکراری نبودن به جمعیت جواب اضافه می گردد.

فرض کنید که تعداد جوابهای موجود در هر تکرار الگوریتم دسته میگوها با N نمایش داده می شود، این مقدار در طی فرایند بهینه سازی ثابت است. برای تولید N جواب شدنی اولیه مطلوب، الگوریتم جستجوی همسایگی موازی طراحی شده باید NN جواب شدنی غیر تکراری را تولید نماید. این الگوریتم، از یک جواب شدنی از پیش تعیین شده بعنوان جواب آغازین استفاده می کند. روش پیشنهادی در ابتدا، جواب موجود را بعنوان ورودی به ساختار جستجوی همسایگی موازی داده و یک جواب را بعنوان خروجی انتخاب و در صورت تکراری نبودن به جمعیت جوابها اضافه می کند. این فرایند تا دستیابی الگوریتم به شرط خاتمه ادامه پیدا می کند. ساختار کامل روش جستجوی همسایگی موازی بصورت زیر است:

¹ Solution Initialization Method

- ۰- شمارنده counter را مساوی صفر قرار بده.
- ۱- جواب ورودی (S) را به عملگر همسایگی اول بده و خروجی را S نامگذاری کن.
- ۲- جواب ورودی (S) را به عملگر همسایگی دوم بده و خروجی را ۲S نامگذاری کن.
- ۳- جواب ورودی (S) را به عملگر همسایگی سوم بده و خروجی را ۳S نامگذاری کن.
- ۴- از بین جوابهای S، S1، S2 و S3 با استفاده از قاعده دب، جواب با کیفیت بالاتر و پراکندگی بالاتر را انتخاب کن.
- ۵- جواب انتخاب شده را S نامگذاری کن.
- ۶- به شمارنده counter یک واحد اضافه کن.
- ۷- در صورتی که مقدار شمارنده از بیشترین حد مجاز تجاوز نکرده به قدم ۱ برو و در غیر اینصورت به قدم ۸ برو.
- ۸- پایان.

۴-۲-۱- رویه بهبود

پایه سازی رویه بهبود در این تحقیق بر پایه جستجوی همسایگی متغیر (VNS)^۱ است. ساختار VNS از ۳ ساختار جستجوی همسایگی (NSS)^۲ استفاده می کند. این ساختارها در قالب VNS استفاده شده و ساختار کلی آن بصورت زیر است (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۱۲):

The pseudo-code of our VNS is as follows:

```

{For each input solution
K=1
While stopping criterion is meet do
    New solution=Apply NSS type k
    If new solution is better then
        K=1
    Else
        K=k+1
        If k=4 then
            K=1
        Endif
    Endif
Endwhile
}

```

هر کدام از جوابهای موجود در جمعیت جواب به الگوریتم VNS داده شده و یک جواب بعنوان خروجی دریافت خواهد شد. سپس رویه اصلاحی بر روی مابقی ماتریسهای جواب اعمال شده و بصورت شدنی اصلاح و جایگزین جواب ورودی خواهد شد. در واقع ساختار کلی رویه بهبود بصورت زیر خواهد بود:

```

Improvement method
{For each si in input population
Si=apply VNS procedure on si.
Si=check feasibility method.
}

```

۴-۲-۲- به روز رسانی آرشیو پارتو

همانطور که قبلاً گفته شد، روش حل استفاده شده در این پایان نامه بر پایه آرشیو پارتو است. در الگوریتم پیشنهادی یک مجموعه به نام آرشیو پارتو در نظر گرفته شده است که جوابهای غیر مغلوب (non-dominated) را که توسط الگوریتم تولید می شوند را

¹ Variable Neighborhood Search

² Neighborhood Search Structure

در خود نگه می دارد. این مجموعه در هر تکرار الگوریتم به روز رسانی خواهد شد. نحوه به روز رسانی به این صورت است که جوابهای تولید شده در آن تکرار و جوابهای موجود در آرشیو پارتو در یک استخر جواب ریخته شده و با هم سطح بندی می شوند، سپس از بین این جوابها، جوابهای موجود در سطح اول یا همان جوابهای غیر مغلوب انتخاب شده و بعنوان آرشیو پارتو جدید در نظر گرفته می شوند.

- انتخاب جواب
- در هر تکرار، الگوریتم به جمعیتی از جوابها نیاز دارد. در این پایان نامه برای انتخاب جمعیت تکرار بعد، جوابهای موجود در جمعیت آن تکرار و جوابهای جدید تولید شده توسط الگوریتم با هم در یک استخر جواب ریخته شده و پس از سطح بندی و محاسبه معیار ازدحام (crowding distance) برای هر جواب با توجه به سطح آن جواب، با استفاده از قاعده دب (۲۰۰۲) N جواب که دارای بالاترین کیفیت و بالاترین پراکندگی هستند، بعنوان جمعیت تکرار بعد الگوریتم انتخاب می شوند.

۴-۳- الگوریتم NSGA-II بر اساس نسخه چند هدفه الگوریتم ژنتیک

ساختار کلی این الگوریتم بصورت ذیل می باشد.

نحوه تولید جوابهای اولیه در این الگوریتم بصورت تصادفی است. در واقع بطور تصادفی N جواب شدنی بعنوان جمعیت تکرار اول الگوریتم تولید خواهند شد.

جهت اعمال عملگر تقاطع، ابتدا باید، والدین جهت تقاطع انتخاب کردند که در تحقیق حاضر، جهت انتخاب والدین، با استفاده از روابط non-dominated و روش تورنمنت دوتایی، دو جواب با کیفیت بالاتر انتخاب می گردند.

الگوریتم NSGA-II دارای دو عملگر جهش و عملگر تقاطع می باشد که عملگر در این تحقیق جهت پیاده سازی عملگر جهش، از ۳ ساختار جستجوی همسایگی شرح داده شده در بخش تولید جوابهای اولیه استفاده شده است، به این ترتیب که یک عدد تصادفی بین ۱ تا ۳ تولید شده و سپس با توجه به عدد تولید شده، یکی از ساختارهای اول، دوم یا سوم بر روی جواب اعمال می گردد. همچنین در این تحقیق جهت پیاده سازی عملگر تقاطع، از یک تقاطع تک نقطه ای استفاده شده است که بر روی دو ماتریس $\alpha_j \alpha_j$ و $b_k b_k$ اعمال می شود.

تقاطع تک نقطه ای: فرض کنید دو ماتریس مقابل و اندیس ۳ بعنوان ورودی تقاطع تک نقطه ای باشند:

0	1	0	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

این دو ماتریس والد ۱ و والد ۲ هستند، حال دو فرزند با استفاده از تقاطع تک نقطه ای بصورت زیر از این دو والد ایجاد می شود. ۳ خانه اول والد اول توسط فرزند اول به ارث برده میشود و همچنین فرزند اول ۵ خانه آخرش را از والد دوم می گیرد. فرزند دو نیز مانند فرزند اول تشکیل می شود با این تفاوت که سه خانه اول را از والد دوم و ۵ خانه آخر را از والد اول به ارث می برد. فرزند اول مطابق ماتریس زیر خواهد بود.

0	1	0	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

و فرزند دوم بصورت زیر خواهد بود:

1	1	0	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

جهت اعمال این عملگر بر روی ماتریس $b_k b_k$ ، نقطه تقاطع در بازه یکنواخت [K..۱] و جهت اعمال این عملگر بر روی ماتریس $\alpha_j \alpha_j$ در بازه یکنواخت [J..۱] تولید می شود. پس از تولید ماتریسهای فرزند $b_k b_k$ و $\alpha_j \alpha_j$ ، برای هر فرزند با توجه به محدودیتهای مدل، مقادیر بقیه متغیرها بگونه ای شدنی (برقرار کلیه محدودیتهای مدل) تعیین می گردند.

عملگر تجدید نسل: نحوه عملکرد این عملگر بدین صورت است که درصدی از جوابهای موجود بدون تغییر به نسل بعد منتقل می شوند.

۵- نتایج محاسباتی

در این مقاله، ساختار دو الگوریتم بهینه سازی دسته میگوها و NSGA-II در محیط نرم افزار متلب پیاده سازی گردیده و مدل حل شده است. در ادامه تحقیق به شرح نتایج محاسباتی پرداخته شده است.

۵-۱- مسئله نمونه

در این تحقیق لجستیک معکوس خودروهای فرسوده در ایران بعنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. در این بخش به شرح مسئله مربوط به مطالعه موردی پرداخته شده است.

مطالعه موردی در نظر گرفته شده شامل استانهای تهران، کاشان، قزوین، خراسان، تبریز، سمنان و آذربایجان می باشد. در واقع این استانها دارای مراکز جمع آوری خودروهای فرسوده می باشند و همچنین نقاط بالقوه جهت تاسیس دهنده کارخانه پیاده سازی اوراق کردن و کارخانه های پردازش و فرآوری نیز می باشند. با توجه به توضیحات ارائه شده، پارامترهای مسئله مطالعه موردی بصورت زیر می باشند:

- تعداد نقاط بالقوه برای تاسیس تسهیلات برابر با ۷ بوده و شامل استانهای تهران، کاشان، قزوین، خراسان، تبریز، سمنان و آذربایجان می باشد.
- تعداد دوره برابر با ۱۲ در نظر گرفته شده است که نشان دهنده ۱۲ ماه و یکسال می باشد. در واقع برنامه ریزی برای یکسال انجام میشود.
- تعداد قطعات یدکی خودرو برابر با ۸ در نظر گرفته شده است که عبارتند از: دربهای جلو و عقب، درب صندوق عقب، موتور، کاپوت، دیفرانسیل، جعبه دنده، کنسول جلو و ضربه گیر جلو و عقب.
- هزینه ثابت راه اندازی کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن به ترتیب در استانهای تهران، کاشان، قزوین، خراسان، تبریز، سمنان و آذربایجان بصورت حدودی با توجه به نظر خبرگان در بازه های [۳۰۰..۲۵۰]، [۲۰۰..۱۷۰]، [۲۶۰..۲۲۰]، [۲۸۰..۲۲۰]، [۲۸۰..۲۲۰]، [۱۸۰..۱۶۰] و [۱۷۰..۱۳۰] میلیون تومان در نظر گرفته شده است.
- هزینه ثابت راه اندازی کارخانه پردازش و فرآوری به ترتیب در استانهای تهران، کاشان، قزوین، خراسان، تبریز، سمنان و آذربایجان بصورت حدودی با توجه به نظر خبرگان در بازه های [۳۲۰..۲۸۰]، [۲۸۰..۲۴۰]، [۳۰۰..۲۶۰]، [۲۵۰..۲۱۰]، [۲۶۰..۲۲۰]، [۲۲۰..۱۸۰] و [۲۴۰..۲۰۰] میلیون تومان در نظر گرفته شده است.
- ظرفیت کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن در کلیه شهرها با توجه به نظر خبرگان برابر با ۱۸۰۰ در نظر گرفته شده است.
- ظرفیت کارخانه پردازش و فرآوری در کلیه شهرها با توجه به نظر خبرگان برابر با ۳۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- ظرفیت مراکز بازیابی در کلیه شهرها با توجه به نظر خبرگان برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- ظرفیت مراکز تبدیل به ضایعات در کلیه شهرها با توجه به نظر خبرگان برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- هزینه های حمل و نقل بین مراکز مختلف در شهرهای مختلف بصورت تابعی از مسافت بین مراکز در نظر گرفته شده است که برای هر ۱ کیلومتر ۱۰۰۰۰ تومان لحاظ شده است.
- مطابق نظر کارشناسان هزینه تبدیل به ضایعات ۵۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- هزینه ایجاد انگیزه برای بازگرداندن هر واحد خودرو به مراکز جمع آوری برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- مطابق نظر کارشناسان، هزینه عملیات هر واحد برای کارخانه پیاده سازی و اوراق کردن در هر دوره در بازه یکنواخت [۲۰۰۰..۱۰۰۰] تولید شده است.
- مطابق نظر کارشناسان، هزینه عملیات هر واحد برای کارخانه پردازش و فرآوری در هر دوره در بازه یکنواخت [۴۰۰۰..۲۰۰۰] تولید شده است.

- سود هر واحد از قطعه یدکی قابل استفاده مجدد خودرو برای قطعات دربهای جلو و عقب، درب صندوق عقب، موتور، کاپوت، دیفرانسیل، جعبه دنده، کنسول جلو و ضربگیر جلو و عقب به ترتیب در بازه‌های یکنواخت [۵۰۰..۲۰۰]، [۵۰۰..۲۰۰]، [۵۰۰..۲۰۰]، [۲۵۰۰..۱۰۰۰]، [۳۰۰..۱۵۰]، [۲۸۰..۱۵۰]، [۸۵۰..۶۰۰]، [۴۰۰..۲۰۰] و [۲۵۰..۵۰] تولید شده است.
- سود هر واحد از محصولات بازیابی شده ۲۰۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
- فاصله بین مراکز با توجه به اطلاعات جغرافیایی موجود بر حسب کیلومتر در نظر گرفته شده است.
- در این تحقیق جهت محاسبه پارامترهای مربوط به اثرات زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب از روشهای LCA و AHP استفاده شده است.

۵-۲- تعیین اثرات زیست محیطی

در این تحقیق جهت تعیین پارامترهای مربوط به اثرات زیست محیطی از روش LCA^۱ استفاده شده است. ارزیابی دوره عمر (LCA) ابزار تصمیم‌گیری است که وضعیت زیست محیطی یک محصول، فعالیت‌های تولیدی و فرآیندها را در طول عمر مفیدشان، برآورد می‌نماید. در LCA از تکنیک‌های مختلفی برای برآورد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی محصولات، فعالیتها و فرآیندها استفاده شده است. امروزه تعداد روزافزونی از سازنده‌ها، شرکتها، موسسات دولتی، مؤسسات علمی و صنایع برای ارزیابی تأثیرات بلند مدت برنامه‌هایشان و تصمیم‌گیری درباره آنها از LCA استفاده می‌کنند [۱۳-۱۴].

در این تحقیق از معیارهای "سلامتی انسان"، "کیفیت محیط زیست" و "مصرف منابع" جهت اندازه‌گیری اثرات محیطی استفاده شده است که برای کلیه تسهیلات وزن اولیه این معیارها با توجه به نظر خبرگان به ترتیب برابر با ۰.۴، ۰.۴ و ۰.۲ در نظر گرفته شده است. همچنین جهت استفاده از روش LCA، مراحل جمع‌آوری خودرو، اوراق کردن، فراوری و پردازش و حمل و نقل تحلیل گردیده است. اندازه‌گیری اثرات زیست محیطی به روش LCA در قالب تابع هدف دوم مدل ریاضی ارزیابی شده است.

۵-۳- اثرات اجتماعی

در این تحقیق از روش تحلیل سلسله‌مراتبی جهت تعیین اثرات اجتماعی استفاده شده است که به تخمین این اثرات در مراحل جمع‌آوری خودرو، اوراق کردن، فراوری و پردازش و حمل و نقل با توجه به معیارهای "توسعه محلی"، "ریسک محصول"، "آسیب به کارگر" و "استخدام" می‌پردازد. در این تحقیق از کارشناسان درخواست شده است تا معیارهای "توسعه محلی"، "استخدام"، "آسیب به کارگر" و "ریسک محصول" را برای مراحل اوراق کردن، فراوری و پردازش در هر کدام از مراکز استانها، با یکدیگر بصورت زوجی مقایسه کنند. در نهایت پس از گردآوری داده‌های مقایسات زوجی، با استفاده از روش AHP به تعیین وزن‌های اثرات اجتماعی در هر کدام از مراکز استانها برای هر کدام از تسهیلات اوراق کردن و پردازش و فراوری پرداخته شده است. با توجه به نتایج AHP، وزن نرمال شده برای معیارهای "توسعه محلی"، "استخدام"، "آسیب به کارگر" و "ریسک محصول" به ترتیب برابر با ۰.۲۳۱، ۰.۴۸۷، ۰.۰۶۵ و ۰.۲۲۶ محاسبه شده است. همچنین وزنهای حاصل برای هر کدام از مراکز استانها برای معیارهای "توسعه محلی"، "استخدام"، "آسیب به کارگر" و "ریسک محصول" در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر اثرات اجتماعی

نام مرکز استان	توسعه محلی	استخدام	آسیب به کارگر	ریسک محصول
تهران	اوراق کردن	0.478	0.264	0.121
	پردازش	0.312	0.185	0.143
کاشان	اوراق کردن	0.426	0.279	0.122
	پردازش	0.423	0.354	0.108

¹ Life Cycle Assessment

0.179	0.263	0.337	0.279	اوراق کردن	قزوین
0.154	0.284	0.419	0.204	پردازش	
0.139	0.247	0.259	0.195	اوراق کردن	خراسان
0.292	0.172	0.302	0.230	پردازش	
0.225	0.272	0.409	0.238	اوراق کردن	تبریز
0.114	0.281	0.466	0.215	پردازش	
0.127	0.250	0.332	0.252	اوراق کردن	سمنان
0.156	0.259	0.496	0.184	پردازش	
0.184	0.255	0.409	0.233	اوراق کردن	آذربایجان
0.123	0.234	0.305	0.244	پردازش	

۵-۴- نتایج حل مدل

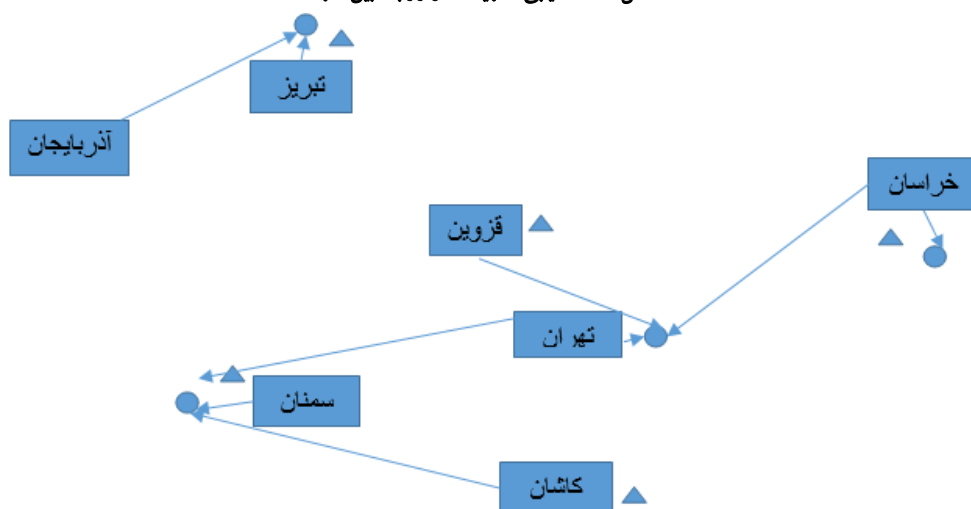
همانطور که در بخشهای قبل گفته شد، مدل ریاضی ارائه شده برای یک مطالعه موردی که شامل لجستیک معکوس خودروهای فرسوده در استانهای تهران، کاشان، قزوین، تبریز، آذربایجان، خراسان و سمنان حل گردیده است. از بین مجموعه جوابهای خروجی دو الگوریتم، جواب با کیفیت بالاتر و پراکندگی بالاتر انتخاب گردید و مقادیر توابع هدف آنها مطابق جدول (۲) مقایسه شد.

جدول ۲- نتایج

اثرات اجتماعی	اثرات محیطی	اثرات اقتصادی	روش
573	682207	68749397	الگوریتم دسته میگوها
573	693240	64900764	الگوریتم NSGA-II

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می گردد، مقدار تابع هدف اول و دوم حاصل از الگوریتم دسته میگوها بهتر از مقادیر متناظر حاصل از الگوریتم NSGA-II است، از طرفی مطابق این جدول مشاهده می شود که مقدار تابع هدف سوم برای هر دو روش یکسان است. با توجه به مقادیر توابع هدف می توان گفت، جوابهای حاصل از الگوریتم بهینه سازی دسته میگوها بهتر از الگوریتم NSGA-II است. شکل (۶)، نشان دهنده مکانیابی تسهیلات در نقاط بالقوه و همچنین روابط بین آنهاست براساس جواب خروجی الگوریتم دسته میگوها می باشد. در شکل زیر، مراکز استانها مشخص شده اند، علامت دایره نشان دهنده تاسیس مراکز اوراق کردن در این استانها و علامت مثلث نشان دهنده تاسیس کارخانه پردازش و فرآوری میباشد. همچنین پیکان ها نشان دهنده، تخصیص مراکز جمع آوری به مراکز اوراق کردن می باشند.

شکل ۶- مکانیابی تسهیلات و روابط بین آنها



همانطور که در نمودار ۱، مشاهده می گردد، در استانهای تهران، سمنان، خراسان و تبریز، کارخانه اوراق کردن تاسیس شده است. در استانهای کاشان، سمنان، خراسان و تبریز نیز کارخانه پردازش و فراوری تاسیس گردیده است. مطابق این نمودار مشاهده میگردد که بین مرکز جمع آوری تهران و مراکز اوراق کردن در تهران و سمنان جریان مواد وجود دارد؛ بین مراکز جمع آوری خراسان و مراکز اوراق کردن خراسان و تهران جریان مواد وجود دارد؛ بین مرکز جمع آوری کاشان با مراکز اوراق کردن سمنان جریان مواد وجود دارد؛ بین مرکز جمع آوری قزوین و مرکز اوراق کردن تهران جریان مواد وجود دارد؛ بین مرکز جمع آوری تبریز و مرکز اوراق کردن در تبریز جریان مواد وجود دارد؛ در نهایت بین مرکز جمع آوری در آذربایجان و مرکز اوراق کردن در تبریز نیز جریان مواد وجود دارد.

همچنین نتایج دو الگوریتم براساس شاخصهای مقایسه‌ای کیفیت، پراکندگی، یکنواختی و زمان مقایسه گردید: شاخص Quality کیفیت- این شاخص به مقایسه کیفیت جوابهای پارتوی بدست آمده توسط هر روش میپردازد. در واقع همه جوابهای پارتوی بدست آمده توسط هر ۲ روش را با هم سطح بندی کرده و مشخص می کند که چند درصد جوابهای سطح یک متعلق به هر روش می باشد. هر چه این درصد بالاتر باشد، الگوریتم، از کیفیت بالاتری برخوردار است. شاخص Spacing یکنواختی - این معیار، یکنواختی توزیع جوابهای پارتوی بدست آمده را در مرز جوابها مورد آزمایش قرار می دهد. این شاخص بصورت زیر تعریف می شود:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |d_{mean} - d_i|}{(N-1) \times d_{mean}} \quad (46)$$

در رابطه فوق، d_i نشان دهنده فاصله اقلیدسی بین دو جواب غیر مغلوب یافت شده مجاور بوده و d_{mean} معرف میانگین مقادیر d_i می باشد. شاخص Diversity پراکندگی- این شاخص برای تعیین میزان جوابهای غیرمغلوب یافت شده بر روی مرز بهینه استفاده می گردد. تعریف شاخص پراکندگی بصورت زیر است:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^N \max(\|x'_t - y'_t\|)} \quad (47)$$

در رابطه فوق، $\|x'_t - y'_t\|$ نشان دهنده فاصله اقلیدسی بین دو جواب مجاور x'_t و y'_t بر روی مرز بهینه است.

جدول ۳- مقایسه نتایج دو الگوریتم براساس شاخصهای مقایسه‌ای

prob	الگوریتم دسته میگوها				NSGA-II					
	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	CPU TIME	تعداد جوابهای آرشیو پارتو	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	CPU TIME	تعداد جوابهای آرشیو پارتو
1	94.3	1.12	1686.4	20.7	87	5.7	0.61	511.2	15.7	60

جدول (۳) نشان می دهد که الگوریتم دسته میگوها در حل مسئله مورد بررسی، توانایی بالاتری برای تولید جوابهای باکیفیت تر نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. الگوریتم دسته میگوها قادر به تولید جوابهای با پراکندگی بالاتری نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد یا به عبارتی الگوریتم دسته میگوها توانایی بیشتری برای اکتشاف و استخراج ناحیه شدنی جواب نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. همانطور که از جدول فوق مشاهده می شود، الگوریتم NSGA-II جوابهایی با یکنواختی بالاتری نسبت به الگوریتم دسته میگوها تولید می کند. همچنین مقادیر زمان اجرای الگوریتمها در جدول (۳) حاکی از این است که الگوریتم دسته میگوها چندهدفه دارای زمان حل بالاتری است. از آنجا که بر اساس ساختار طراحی شده روش پیشنهادی، این

روش، در هر تکرار بصورت هوشمندانه نقاط زیادی از فضای جواب را جستجو میکند. بدیهی است که این روش، زمان محاسباتی بیشتری را نسبت به روش NSGA-II مصرف می کند [۱۵ و ۲۰].

۶- نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه و حل مدل ریاضی سه هدفه برای لجستیک معکوس جمع آوری خودروهای فرسوده در ایران پرداخته شده است. در این راستا، پس از طراحی مدل، از دو الگوریتم دسته میگوها چندهدفه برپایه آرشیو پارتو و الگوریتم NSGA-II جهت حل مدل استفاده شده است. نتایج حل مدل نشان داد، الگوریتم دسته میگوها پیشنهادی که بصورت ترکیب با VNS طراحی شده است، قادر به حل مدل و دستیابی به جوابهای مرز بهینه میباشد. زیرا مقایسه نتایج این الگوریتم با نتایج الگوریتم شناخته شده NSGA-II نشان داد، کیفیت جواب تولید شده توسط الگوریتم دسته میگوها نسبت به الگوریتم NSGA-II بهتر است.

۷- مراجع

1. Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Lakovou, E., and Baniyas, G.; "Optimising Reverse Logistics Network to Support Policy-Making in the Case of Electrical and Electronic Equipment", Waste Management, 30(12), p. p. 2592-2600, 2010.
2. Aydın, Nezir. (2020). Designing Reverse Logistics Network of End-Of-Life-Buildings as Preparedness to Disasters under Uncertainty. Journal of Cleaner Production. 256. 120341. 10.1016/j.jclepro.2020.120341.
3. Chan, F. T.S, Chan, H.K., Jain, V., A framework of reverse logistics for the automobile industry. International Journal of Production Research , 2012, 50(5), 1318-1331.
4. Deb, K., et al., A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation, 2002. 6(2): p. 182-197.
5. Lin, Y., Jia, H., Yang, Y., Tian, G., Tao, F., Ling, L. (2018). An improved artificial bee colony for facility location allocation problem of end-of-life vehicles recovery network. Journal of Cleaner Production. Volume 205, Pages 134-144.
6. Linh, Doan & Amer, Yousef & Lee, Sang-Heon & Phuc, Phan & Dat, Luu. (2019). E-Waste Reverse Supply Chain: A Review and Future Perspectives. Applied Sciences. 9. 5195. 10.3390/app9235195.
7. Ene, S., Öztürk, N., Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. Waste Manag. 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.007>.
8. Hogland, W& Stenis. J (2010). Assessment and system analysis of industrial waste management, Waste Management, vol.20, ppt.7-543
9. Kuroki, Hiroshi & Ishigaki, Aya & Takashima, Ryuta. (2020). A location-routing problem with economic efficiency for recycling system. Procedia Manufacturing. 43. 215-222. 10.1016/j.promfg.2020.02.139.
10. Kuşakc, AO., Ayvaz, B., Cin, E., Aydın, N. (2019). Optimization of reverse logistics network of End of Life Vehicles under fuzzy supply: A case study for Istanbul Metropolitan Area, Journal of Cleaner Production (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.090>.
11. Mahmoudzadeh, M., Mansour, S., Karimi, B. (2011). A Decentralized Reverse Logistics Network for End of Life Vehicles from Third Party Provider Perspective. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology.
12. Olapiriyakul, Sun & Pannakkong, Warut & Kachapanya, Warith & Starita, Stefano. (2019). Multiobjective Optimization Model for Sustainable Waste Management Network Design. Journal of Advanced Transportation. 2019. 1-15. 10.1155/2019/3612809.
13. Pitakaso, Rapeepan & Sethanan, Kanchana & Theeraviriya, Chalermchat. (2020). Variable neighborhood strategy adaptive search for solving green 2-echelon location routing problem. Computers and Electronics in Agriculture. 173. 105406. 10.1016/j.compag.2020.105406.
14. Rabbani, M., Mokhtarzadeh, M., Farrokhi-Asl, H. (2018). A New Mathematical Model for Designing a Municipal Solid Waste System Considering Environmentally Issues. Int J Supply Oper Manage (IJSOM), Vol.5, No.3.
15. Safdar, Nimra & Khalid, Rabia & Ahmed, Waqas & Imran, Muhammad. (2020). Reverse logistics network design of e-waste management under the triple bottom line approach. Journal of Cleaner Production. 122662. 10.1016/j.jclepro.2020.122662.

16. Sasikumar, P., Kannan, G., and Haq, A. N.; "A Multi-Echelon Reverse Logistics Network Design for Product Recovery – A Case of Truck Tire Remanufacturing", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12), p. p. 1223-1234, 2010.
17. Wang, X., Zhao, M., He, H. (2018). Reverse Logistic Network Optimization Research for Sharing Bikes. *Procedia Computer Science* 126 (2018) 1693–1703.
18. Xiao, ZH., Suna, J., b, Shua, W., Wanga, T. (2019). Location-allocation problem of reverse logistics for end-of-life vehicles based on the measurement of carbon emissions. *Computers & Industrial Engineering*, 127: 169-181.
19. xu, Zhitao & Elomri, Adel & Pokharel, Shaligram & Zhang, Qin & Ming, Xinguo & Liu, Wenjie. (2017). Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint. *Waste Management*. 64. 10.1016/j.wasman.2017.02.024.
20. Yu, H., Solvang, W-D. (2016). A general reverse logistics network design model for product reused and recycling with environmental considerations. *Int J Adv Manuf Technol* (2016) 87: 2693. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8612-6>.