شاپای الکترونیکی: ۲۸۵۶-۲۷۸۳
شاپای چاپی: ۰۴۵۴-۲۷۱۷
دو فصلنامه نوآوری و ارزش آفرینی
Http://journalie.ir

ارائه یک مدل چندهدفه به منظور تخصیص و ظرفیت سازی مراکز بازیافت پساب صنعتی با هدف حداقل کردن میزان حمل ونقل و بیشینه نمودن میزان تولید آب قابل بازیافت

*مصطفی محمودآبادی ** صادق عابدی *** معصومه دانش شکیب
* دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.
mostafa.mahmoodabadi936@gmail.com
** استادیار دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.
abedi.sadegh@gmail.com
*** استادیار دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.
ms.danesh.shakib@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

چکیده

پساب‌ها بخصوص پساب‌های صنعتی به عنوان مخزن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا قادر به ایجاد آلودگی وعفونت هستند. درصورتی که مدیریت دفع پساب از نظر بهداشت و سلامت مناسب نباشد، این میکرو ارگانیسم‌ها می توانند از طریق هوا وآب و... ویا به وسیله ناقلین به دیگران منتقل شوند. بالابودن رقابت صنایع تولیدی همراه با فشارهای محیطی و الزامات داخلی برای کاهش قیمت و زمان تحویل، افزایش کیفیت و توانایی تامین‌کنندگان در تولید فراورده‌های متنوع و جدید در زمان کوتاه‌تر شده و همچنین امکان ورود رقبای خارجی به صنعت، در کنار مسائل زیست محیطی و بهداشتی سبب نیاز به عملکرد مطلوب‌تر نسبت به سایر رقبا در این صنعت است که زمینهٔ خوبی برای اجرای این پژوهش فراهم آمده است. در این پژوهش مدلی هوشمند برای برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری زیرساخت‌های شهری جمع‌اوری پساب‌های سطحی و میزان تاثیر آن بر انتشار آلایندگی پرداخته شد. پس از جمع آوری اطلاعات مدل‌سازی، و با درنظرگیری فرضیات مساله، قادر به تعیین کاهش هزینه‌های جمع‌اوری پساب‌های سطحی و کاهش انتشار آلاینده به محیط بر اساس تعیین مسیر بهینه ماشین‌های جمع‌اوری پساب می‌باشد. از طرفی به دلیل ماهیت NP-Hard بودن مساله، از الگوریتم فراابتکاری گرگ خاکستری چند هدفه به منظور کاهش هر دو تابع هدف تحت سناریوها و شرایط مختلف استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی قادر است مساله در ابعاد مختلف را از نقطه نظر افزایش تعداد ماشین جمع‌اوری پساب، تعداد مکان‌های کاندید جمع اوری پساب، افزایش انباشتگی پساب‌ها در مکان‌ها، افزایش تعداد خودرو در شبکه و نیز افزایش فاصله مکان‌های کاندید پساب به نحو مطلوبی تعیین نماید تا تضمین کند تمام پساب‌های انباشته شده در مکان‌های کاندید توسط خودروهای شبکه جمع‌اوری شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بازیافت پساب صنعتی، ظرفیت‌سازی، تولید آب قابل بازیافت، مدل چند هدفه، الگوریتم گرگ خاکستری.

نوع مقاله: پژوهشی

۱- مقدمه

زنجیره تأمین سیستمی متشکل از تسهیلات و فعالیت‌هاست که توأماً به منظـور تـدارک، تولیـد و توزیع کالا به مشتریان کار می‌کند. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای از روش‌هایی است که برای ادغام کارای تأمین‌کنندگان، سازندگان، انبارها

نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات: صادق عابدی Abedi.sadegh@gmail.com

و خرده‌فروشان بکار می‌رود تا کالاهای مربوطه در حجم مناسب، در مکان مناسب و در زمان مناسب با کمترین هزینه ممکن (بیشترین درآمد ممکن) با سطح سرویس مناسب در اختیار مشتریان قرار گیرد (خسروی و همکاران، ۲۰۲۲). مدیریت زنجیره تامین به دلیل رقابت روزافزون و تلاش سازمان‌ها برای بقا و تکیه بر پیشرفت‌های فناوری اطلاعات و نزدیکی ارتباطات، در دهه‌های گذشته مورد توجه سازمان‌ها قرار گرفته است. شکل جدید کسب و کار در جهان امروز نیز این امر را نشان می دهد (گودرزیان و حسینی نسب، ۲۰۲۱). بطور کلی، دو نوع زنجیره تامین وجود دارد. زنجیره‌های تامین رو به جلو و معکوس. شبکه زنجیره تامین[1] از جمله مهمترین تصمیمات مدیریت زنجیره تامین می باشد که کارایی و اثربخشی زنجیره را برای سال‌های زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد. زنجیره تامین رو به جلو(FSC[2]) شامل مجموعه ای از فعالیت‌ها در فرآیند تبدیل مواد خام به محصولات می‌باشد (آبرزاده و همکاران، ۲۰۱۸). زنجیره تامین معکوس(RSC[3]) به صورت فعالیت‌های جمع آوری و بازیابی محصولات بازگشتی در مدیریت زنجیره تامین تعریف می شود. ترکیب زنجیره تامین رو به جلو و زنجیره تامین معکوس، زنجیره تامین حلقه- بسته(CLSC[4]) را می سازد (دِویکا وهمکاران، ۲۰۱۴). زنجیره تامین معکوس (RSC) به عنوان مجموعه‌ای از فعالیت‌های جمع آوری و بازیابی محصولات بازگشتی در مدیریت زنجیره تامین تعریف شده است. ویژگی‌های اقتصادی، جهت‌گیری‌های دولت و فشار مشتری، سه جنبه از لجستیک معکوس است. به طور کلی، در شبکه-های لجستیک معکوس، در مقایسه با شبکه‌های روبه‌جلو، نقاط عرضه بیشتر از نقاط تقاضا وجود دارد. لجستیک معکوس شامل فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان ورودی و ذخیره کالاهای ثانویه و اطلاعات مربوط به آن در مقابل جهت‌های زنجیره تامین سنتی برای بهبود ارزش و دفع مناسب است. تفاوت بین لجستیک روبه‌جلو و معکوس در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. تفاوت بین لجستیک روبه جلو و معکوس

مورد	لجستیک مستقیم	لجستیک معکوس
پیش بینی	مرتبط با جریان مستقیم	سخت و دشوار
تعداد نقاط توزیع	تعداد فراوان	یک نقطه
کیفیت محصولات	یکنواخت	غیر یکنواخت
بسته بندی محصولات	یکنواخت	آسیب دیده
مسیر مقصد	روشن و شفاف	روشن و شفاف
وضعیت	روشن	غیر واضح
قیمت گذاری	مرتبط و یکنواخت	وابسته به عوامل زیاد
سرعت	دارای اهمیت بسیار زیاد	اغلب به عنوان یک اولویت محسوب نمی‌شود
هزینه های توزیع	قابل مشاهده	قابل مشاهده به سختی
چرخه عمر محصول	قابل مدیریت و ساده	بسیار پیچیده
مدیریت موجودی	ثابت و پایدار	غیر پایدار
مذاکرات	بصورت متعدد صورت می پذیرد	بسیار پیچیده است
روش های بازاریابی	بخوبی شناخته شده است	بسیار پیچیده است
امکان مشاهده فرایند	مشهود و سهل	به آسانی قابل انجام نیست.

1 .Supply Chain Network Design
2 .Forward supply chain
3 .Reverse supply chain
4. Closed-Loop Supply Cchain

اجزای زنجیره تأمین معکوس را مشتریان، مراکز جمع‌آوری، بازیافت و انهدام محصولات مستعمل تشکیل می‌دهد. در این زنجیره، محصولات بازگشتی از مشتری پس از جمع‌آوری، بازرسی شده و برای بازیافت و انهدام به مراکز مربوطه ارسال می‌گردد. تعیین مکان احداث مراکز بازیافت و انهدام به همراه متغیرهای عملیاتی مانند جریان مواد بازگشتی از متغیرهای تصمیم این نوع شبکه‌ها می‌باشد. مسئله یکپارچگی در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین حلقه بسته، تعیین همزمان تصمیمات راهبردی و عملیاتی دو زنجیره مستقیم و معکوس می‌باشد (فرخ و همکاران، ۲۰۱۷).

از طرفی، موضوع بسیار مهم در بسیاری از شرکت‌ها و کارخانه‌های صنعتی، تصفیه، بازیافت و یا دفع پساب‌های صنعتی می‌باشد. مدیریت صحیح (جامع) آب و فاضلاب که جهت سلامت انسان و توسعه اقتصادی لازم است، در بسیاری از کشورهای دنیا هنوز هم یک مسئله بسیار بحرانی می باشد. اگرچه در کشورهای صنعتی کنترل آب و فاضلاب به یک حد تقریبا استانداردی رسیده، اما در کشورهای کم در آمد و با در آمد متوسط هنوز مشکلات شدیدی در مورد تامین آب و مدیریت فاضلاب وجود دارد (جانگ و همکاران، ۲۰۱۸)، به طوری که ۲ میلیارد نفر در جهان یعنی دو سوم کل جمعیت جهان فاقد سیستم تصفیه فاضلاب هستند (آواد و همکاران، ۲۰۱۹). از طرف دیگر، مراکز بازیافت پساب های صنعتی به دلیل دارا بودن مواد شیمیایی مضر، از نظر سلامت انسان‌ها و محیط پیرامون مورد توجه خاصی قرار دارد. پساب‌ها، به‌شدت سمی هستند و نمی‌توان برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی استفاده کرد؛ از این رو میتوان با عملیات مربوط به تصفیه، می‌توان از آن ها استفاده مجدد نمود. این مساله را می‌توان از طریق مدلسازی یک زنجیره تامین معکوس ارزیابی نمود. بر این اساس، در این پژوهش تلاش می‌شود تا با بکارگیری یک مدل ریاضی چند هدفه در زمینه تصفیه پساب‌های صنعتی در قالب یک مدل زنجیره تامین معکوس، به ارزیابی و تحلیل این مساله از نقطه نظر کاهش آلاینده به محیط زیست و افزایش میزان بهره وری از تصفیه پساب ها پرداخت. بطور خاص، اهدافی که در این پژوهش در صدد پاسخگویی به آن هستیم که آن را نسبت به پژوهش‌های دیگر داری تمایز می‌کند را می‌توان بصورت کاهش میزان حمل ونقل پساب صنعتی، افزایش میزان تولید آب قابل استفاده از بازیافت، و افزایش نرخ تبدیل میزان بازیافت مواد الاینده صنعتی پساب به مواد الی ومعدنی مورد نیاز درصنعت وکشاورزی درنظر گرفت که برای حل این مدل چند هدفه، از رویکرد بهینه‌سازی گرگ خاکستری چندهدفه (MOGWO) استفاده شده است.

۲- زنجیره تامین حلقه بسته

از لحاظ فنی، زنجیره تامین حلقه بسته شامل دو بخش است: زنجیره تامین روبه جلو و زنجیره تامین معکوس. یک زنجیره عرضه کلاسیک یا رو به جلو (پیشرفته) شامل شبکه‌ای از تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان است که برای تولید و ارائه یک محصول یا خدمات خاص تشکیل شده است. لجستیک معکوس شامل تمام مسائل مربوط به جمع‌آوری محصولات استفاده شده، کنترل و جمع آوری آنها، و همچنین بازیافت، پردازش مجدد، تعمیر و دفع آن‌ها است. اگر هر دو زنجیره عرضه مستقیم و معکوس به طور همزمان در نظر گرفته شوند، شبکه حاصل به عنوان زنجیره تامین حلقه بسته تعریف می‌شود (زربخشنیا و همکاران، ۲۰۲۰). زنجیره تامین حلقه بسته شامل هر دو زنجیره تامین مستقیم و زنجیره تامین معکوس است. زنجیره تامین مستقیم اساسا شامل حرکت محصولات از تامین کنندگان بالادست به مشتریان پایین دست است، در حالی که زنجیره تامین معکوس شامل انتقال محصولات استفاده شده از مشتریان به تامین کنندگان بالادست است (ژن و همکاران، ۲۰۱۹).

امروزه زنجیره تامین حلقه بسته، در جهانی که نگرانی‌های زیست محیطی و قوانین سخت مربوط به ضایعات وجود دارد، توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. یک زنجیره تامین حلقه بسته شامل هر دو زنجیره رو به جلو و معکوس می‌شود. زنجیره رو به جلو شامل حرکت کالاها و محصولات از تامین کنندگان بالادستی به مشتریان پایین دستی، می‌شود. شبکه لجستیک معکوس کالاهای استفاده شده را از مصرف کنندگان نهایی گردآوری کرده، جمع و بازرسی می‌کند، آنها را بر حسب نیاز دسته بندی کرده و آنها را به مراکز گوناگون بازیافت می‌فرستد. بنابراین

لجستیک معکوس هم از جهت مالی و هم محیطی یکی از مهم ترین اجزای زنجیره تامین حلقه بسته محسوب می‌شود. در صورتی که زنجیره تامین معکوس با زنجیره تامین رو به جلو یکپارچه باشد، می‌تواند سهم بسزایی در کاهش هزینه کل و رعایت قوانین دولتی و محیطی داشته باشد. بنابراین نیاز به مدلسازی و تحلیل زنجیره تامین حلقه بسته به عنوان یک سیستم جامع، بدون تجزیه آن به دو بخش مجزای رو به جلو و معکوس، وجود دارد (کانان، ساسیکومار و دویکا[1]، ۲۰۱۰).

۳- مرور ادبیات

با توجه به اهمیت مساله طراحی زنجیره تامین حلقه بسته، تاکنون پژوهش های مختلفی با اهداف گوناگون و بخصوص زیست محیطی انجام شده است. برای مثال، رینالدی و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود به ارزیابی تاثیر COVID-19بر فرآیندهای لجستیک و زنجیره تامین در برخی زمینه های صنعتی ایتالیا پرداختند. نتایج نشان می دهد که تأثیر کووید-۱۹ بر حجم و عملکرد خدمات در بخش های مختلف متفاوت است: غذا و نوشیدنی و تدارکات و حمل و نقل به طور ضعیفی تحت تأثیر این همه‌گیری قرار گرفتند. در حالی که صنایع مکانیکی یا نساجی و مد بیشتر تحت تاثیر کاهش تقاضا قرار گرفتند. اردکانی و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی زنجیره تامین مواد غذایی پایدار مواد غذایی برزیل در دوران کووید-۱۹ پرداختند. هدف این مطالعه بر اساس تئوری هماهنگ‌سازی منابع، ارزیابی اثرات شیوع COVID-19 بر عملکرد پایدار (زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی) در زمینه زنجیره تامین محصولات کشاورزی و غذایی بوده است. دلفانی و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل بهینه فازی رباست برای حل مساله طراحی شبکه معکوس زنجیره تامین دارویی چند هدفه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و زمان تحویل ارائه دادند. در این مقاله، به منظور بهبود شبکه زنجیره تامین دارویی، یک مدل جدید مکان - تخصیص - موجودی به عنوان یک سیستم حمل و نقل چند هدفه، چند سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای و چندوجهی برای طراحی شبکه زنجیره تامین دارویی تحت عدم قطعیت پیشنهاد شده است. کومار[2] و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی توانمندسازهای تاب آوری و آمادگی همه گیر در زنجیره تامین مواد غذایی پرداختند. این مطالعه به تصمیم‌گیرندگان زنجیره تامین کمک می‌کند تا توانمندسازها و روابط زمینه‌ای و علّی را برای بهبود ابتکارات تاب‌آوری شناسایی کنند. همچنین به آنها کمک می‌کند تا عملیات تولید خود را تغییر دهند و به سایر تولیدات بسیار مورد نیاز و پرتقاضا روی آورند. کبیر و همکاران (۲۰۲۱)، به طراحی و حل یک شبکه بهبود یافته زنجیره تامین معکوس حلقه باز با هدف تصفیه آب پرداختند. در این مطالعه، یک رویکرد ریاضی یکپارچه جدید برای پرداختن به طراحی یک شبکه زنجیره تامین معکوس حلقه باز چند مرحله‌ای، چند محصولی و چند دوره‌ای پیشنهاد شده است که سود را به حداکثر می‌رساند و از لجستیک معکوس برای بهره‌مندی از محیط‌زیست به کارآمدترین روش استفاده می‌کند. شهبازی و یانگ چئول بی یان (۲۰۲۱) یک سیستم ردیابی برای مواد فاسد شدنی (غذا) مبتنی بر یادگیری ماشین بلاکچین (BMSFTL) برای ادغام مدل با بلاکچین فناوری یادگیری ماشین (ML) و سیستم ردیابی منطق فازی که بر مبنای سیستم مدیریت مدت ماندگاری محصول فاسد شدنی است ارائه دادند و از فناوری بلاکچین برای رسیدگی به ،وزن تبخیر و زمان حمل و نقل استفاده کردند. سانتاردار[3] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته برای بازیافت پلاستیک محلی و توزیع شده برای چاپ سه بعدی پرداختند. این پژوهش ابعاد اقتصادی و زیست محیطی این روش بازیافت پلاستیک توزیع شده را از منظر لجستیک، به عنوان گامی به سمت اعتبار سنجی آن بررسی می کند. فتح الهی فرد و همکاران (۲۰۲۰) یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پایدار برای یک سیستم یکپارچه تامین آب و جمع‌آوری فاضلاب (WSWCS)در شرایط عدم قطعیت با استفاده از بهینه‌ساز مهندسی اجتماعی (SEO) ارائه دادند. امیریان و همکاران (۱۴۰۲) به طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با درنظرگرفتن قیمت گذاری اقتصادی و مسائل زیست محیطی تحت

1. Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K

2 . Kumar
3 . Santander, etal

شرایط عدم قطعیت فازی در زمینه لاستیک سنگین پرداختند. برای حل مدل تابع دوهدفه، روش -محدودیت به کار گرفته می‌شود تا مسئله بتواند جوابهای بهینه پارتویی قوی را تضمین کند و از جوابهای پارتویی ضعیف جلوگیری کند. فیض‌الهی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای به توسعه مدل ریاضی زنجیره تامین حلقه بسته با محدودیت‌های تقاضا و ظرفیت تامین‌کننده فازی و حل آن با الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداختند. رضانیا و همکاران (۱۴۰۲) به طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته میگو با قابلیت ارتجاعی تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. این پژوهش زنجیره تامین میگو را به عنوان مجموعه‌ای از تامین کننده‌ها (مراکز صید و آبزی‌پروری)، کارخانه‌های فرآوری میگو، مراکز توزیع، عمده فروشان، بازارها، کارخانه پودر ضایعات میگو و بازار پودر ضایعات میگو در نظر می‌گیرد. محبی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای به ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زنجیره تامین حلقه بسته تاب آور پایدار با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹ پرداختند. مدرس و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای به ارائه مدل برنامه‌ریزی تولید-توزیع یکپارچه زنجیره تامین حلقه بسته محصولات کشاورزی بر اساس تصمیم‌گیری گروهی احتمالی و مسائل زیست محیطی پرداختند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح چند هدفه که به دنبال حداقل کردن هزینه‌ها، آثار زیست محیطی و حداکثرکردن اهمیت تامین‌کنندگان می‌باشد، ارائه شده است.

با توجه به انکه در بررسی مقالات فوق، تنها یک پژوهش به بررسی مدلسازی پساب های صنعتی و چگونگی بازیافت آن در قالب یک مدل ریاضی پرداخته بود، در بخش بعد با اتسفاده از این مقاله، مدل ریاضی خودرا توسعه می‌دهیم.

۴- مدل سازی

در این پژوهش مدلی هوشمند برای زنجیره تامین حلقه بسته جمع‌آوری و بازیافت پساب صنعتی بر اساس کار کبیر و همکاران (۲۰۲۱) ارائه شده است. در مقاله ارائه شده توسط کبیر و همکاران (۲۰۲۱)، یک رویکرد ریاضی یکپارچه جدید برای پرداختن به طراحی شبکه زنجیره تامین معکوس حلقه باز چند مرحله ای، چند محصولی و چند دوره‌ای پیشنهاد شده است که سود را به حداکثر می‌رساند و از لجستیک معکوس برای بهره‌مندی از محیط به کارآمدترین راه استفاده می کند. رویکرد پیشنهادی یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) را ارائه می‌کند که از تسهیلات تصفیه آب به همراه اجزای مشترک زنجیره تامین معکوس حلقه باز (OLSC) استفاده می‌کند. در این مقاله، دو مدل ارائه شده است. مدل اولی با یک رویکرد محدود است و تعداد پارامترهای آن نسبت به مدل دومی کم‌تر است. مدل اول یک مسئله کمینه‌سازی است و میزان مسافت طی شده و هزینه جایه‌جایی توسط ماشین‌آلات جمع‌اوری آب را با یک تابع هدف، کمینه می‌کند. در مدل دوم، یک آستانه سر ریز برای آب‌های شهری در نظر گرفته می‌شود و این مدل یک مسئله بیشینه‌سازی است که میزان سود حاصل از جمع‌آوری آب شهری را بیشینه می‌کند. در مدل دوم، هزینه‌های بدست آمده از مدل اولی را از درامد حاصل از جمع‌آوری آب قابل بازیافت کسر می‌کند تا سود حاصل بدست بیاید. این مسئله را می توان به صورت زیر تعریف کرد: با توجه به مجموعه‌ای از n مکان بالقوه پساب صنعتی، مجموعه‌ای از v وسیله نقلیه همگن و یک انبار (که در آن همه وسایل نقلیه مسیرهای خود را شروع و به پایان می‌رسانند)، یک نمودار کامل بدون جهت در $n + 1$ گره با فاصله d_{ij} برای فاصله هر دو گره از یکدیکر تعریف شده است. هر مکان پساب دارای حداکثر ظرفیت E_i است، همچنین هزینه حرکت ماشین جمع‌آوری پساب صنعتی را برای هر واحد مسافت طی شد برابر C و مقدار درآمد برای مقدار پساب جمع آوری شده را R در نظر می‌گیریم. هر وسیله نقلیه دارای ظرفیت ثابت Q با واحد کیلوگرم است.

برای هر مکان مدنظر برای پساب صنعتی، یک سنسور پر شدن هم تعبیه می‌شود تا میزان پساب را با واحد متر مکعب به مرکز جمع‌آوری پساب صنعتی ارسال کند. این اطلاعات ارسالی با توجه به چگالی پساب های Bمی‌تواند به واحد کیلوگرم تبدیل شود. در ادامه فرضیات مدل و مدل ریاضی روش پیشنهادی برای افزایش سود حاصل از جمع‌آوری پساب‌های صنعتی و کاهش انتشار آلایندگی ناشی از شیب و

حمل بار در حرکت ماشین‌های جمع اوری پساب، ارائه شده است.

همچنین برای حل مدل، فرضیات زیر درنظر گرفته شده است:

- کامیون‌های حمل پساب دارای ظرفیت محدود و یکسان Q هستند.
- مکان‌های مدنظر برای پساب‌های صنعتی دارای ظرفیت مشخص E_i هستند.
- هر کامیون حرکت خود را از انبار آغاز و در خاتمه مجدد به انبار برمی‌گردد.
- فاصله بین پساب‌های صنعتیd_{ij} بر اساس مکان قرار گرفتن آن‌ها در محیط محاسبه می‌شود.
- هزینه حرکت ماشین‌های جمع‌اوری پساب برای هر واحد مسافت طی شده برابر C است، این هزینه شامل هزینه سوخت وسیله نقلیه و تعمیر و نگه‌داری وسیله نقلیه است.
- درآمد حاصل از تصفیه پساب جمع‌آوری شده برابر R است.
- هر کامیون فقط یک دور در طول روز می‌تواند برای جمع‌آوری پساب‌ها از انبار خارج شود.
- تعداد کامیون‌های در دسترس برابر k است.
- اطلاعات مکان‌های جمع‌آوری پساب‌ها در ابتدای روز توسط حسگرها به مرکز جمع‌آوری پساب صنعتی ارسال می‌شود.
- سرعت برای وسائل نقلیه مقداری ثابت و مهارت رانندگان یکسان در نظرگرفته شده است.
- میزان آلایندگی تابعی از مقدار بار و نیز شیب جاده است.

۱-۴- مدل‌سازی ریاضی

الف) اندیس‌ها

مکان پساب ها به همراه مرکز جمع‌آوری پسماند (اندیس گره‌ها) $i, j \in I$ ، $I = \{0,1,2,...,n+1\}$

اندیس وسایل نقلیه $v \in F$ ، $F = \{1,2,...,k\}$

تعداد مکان های پساب برابر n است و به همراه مرکز واقعی جمع‌آوری پساب صنعتی (ماشین‌ها در شروع حرکت در این مرکز قرار دارند) و مرکز مجازی جمع‌آوری پساب سطحی، گره‌های مدل را تشکیل می‌دهند. مرکز واقعی جمع‌آوری پساب سطحی، گره صفر است. مرکز مجازی جمع‌آوری پساب سطحی هم گره n+1 است. ماشین‌های جمع آوری پساب بعد از رسیدن به مرکز مجازی جمع‌آوری پساب، مسیر طی شده را به همان شکل برای برگشت به انبار واقعی طی می‌کنند.

ب) پارامترها

هزینه جابه‌جایی وسایل نقلیه برای هر واحد مسافت طی شده (دلار)	C
درآمد برای هر کیلوگرم پساب تصفیه شده جمع اوری شده (دلار)	R
جریمه برای استفاده از ماشین‌ها (دلار)	Ω
ظرفیت ماشین‌های جمع آوری پساب با واحد کیلوگرم	Q
چگالی پساب با واحد کیلوگرم بر مترمکعب	B
فاصله بین دو گره i و j	d_{ij}
مقدار پساب قرارگرفته در مکان مورد نظر i با واحد کیلوگرم (بر اساس داده‌های ارسالی توسط حسگرها با واحد متر مکعب و چگالی پساب جمع‌آوری شده محاسبه می‌شود)	S_i
پیش‌بینی نرخ انباشت روزانه مکان پساب صنعتی i	a_i
ظرفیت مکان پسابi	E_i

تعداد پساب در نظر گرفته شده با مجموع مقدار پساب صنعتی جمع آوری شده و نرخ پیش‌بینی شده‌ی بیش‌تر از ظرفیت برای مکان $S_i + a_i > E_i$	H
با توجه به سطح خدمات ارائه شده، درصد مخازن پساب هایی که می‌توانند سرریز شوند	δ
حداکثر سطح آستانه سرریز مجاز	ψ
ضریب تاثیر شیب جاده	θ
ضریب تاثیر بار ماشین	β
شیب جاده در یال بین دو گره i و j	h_{ij}
میزان الایندگی تولید شده به ازای هر واحد فاصله طی شده توسط وسیله نقلیه	Pol

ج) متغیرهای تصمیم‌گیری

متغیر دودویی (صفر و یک) که نشان‌گر بازدید از یال (i,j) توسط ماشین v است و $i, j \in I$ و $v \in$ F	x_{ijv}
متغیر دودویی که نشان دهنده بازدید از سطل زباله i است $i, j \in I \backslash \{0, n+1\}$	g_i
میزان بار ماشین v در زمان بازدید از گره j	y_{vj}
متغیر عدد صحیح برای تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده	k

د) توابع هدف

با توجه به این‌که در مدل ارائه شده توسط کبیر و همکاران (۲۰۲۱)، بعد از مسیریابی ماشین‌ها، مشخص نمی‌شود که هر یک از ماشین‌های جمع آوری پساب صنعتی چه مسیری را طی کردند، در واقع سابقه‌ای از مسیرهای طی شده توسط ماشین‌های جمع اوری پساب به جا نمی‌ماند، در پژوهش حاضر با ایجاد تغییراتی در متغیرهای تصمیم‌گیری، این مشکل را حل کردیم. متغیر تصمیم‌گیری x_{ijv} یک متغیر سه بعدی تعریف شده است، در حالی که در کار کبیر و همکاران به صورت یک متغیر دو بعدی تعریف شده است و مشخص می‌کند که آیا از گره i به گره j ماشینی عبور کرده است یا نه. در پژوهش حاضر، بعد وسیله نقلیه را هم به این پارامتر اضافه کردیم تا مشخص شود که کدام ماشین جمع آوری پساب از گره i به گرهj عبور کرده است. البته این محدودیت هم اعمال شده است که فقط یک ماشین باید از گره i به گره j برای جمع‌آوری پساب عبور کند.

متغیر تصمیم‌گیری y هم در کار کبیر و همکاران (۲۰۲۱) بین دو گره تعریف شده است، اما برای این‌که تاریخچه‌ای از میزان بار جمع‌آوری شده توسط هر ماشین در دست داشته باشیم، این متغیر را به صورت دو بعدی بین گره‌ها و ماشین ها تعریف کرده‌ایم. با تغیراتی که در متغیرهای تصمیم‌گیری داده‌ایم و با توجه به این‌که مدل ما دارای دو تابع هدف است، توابع هدف و محدودیت های این پژوهش به صورت زیر است:

$$Max\, P = R \sum_{i \in I \backslash \{0,n+1\}} S_i g_i - (C \sum_{v \in F} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I,(j \neq i)} x_{ijv} d_{ij} + k\Omega) \quad (۱)$$

$$Min \ \text{pollution} = \sum_{v \in F} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I,(j \neq i)} x_{ijv}.d_{ij}.Pol.(1+\theta h_{ij}).\beta y_{vj} \quad (۲)$$

$$\sum_{i \in I \backslash \{0,n+1\}:\, S_i + a_i \geq E_i} g_i \leq H - n\delta \quad (۳)$$

$$g_i = 1, \ \forall i \in I \backslash \{0,n+1\} : S_i \geq \psi E_i \quad (۴)$$

$$\sum_{v \in F} \sum_{i \in I,(i \neq j)} x_{ijv} = g_j, \forall j \in I \backslash \{0,n+1\} \quad (۵)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I,(i \neq j)} x_{ijv}.s_j < Q \quad \forall v \in F \quad (۶)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I, i \neq j, v \in F \quad (۷)$$

$$g_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \backslash \{0,n+1\} \quad (۸)$$

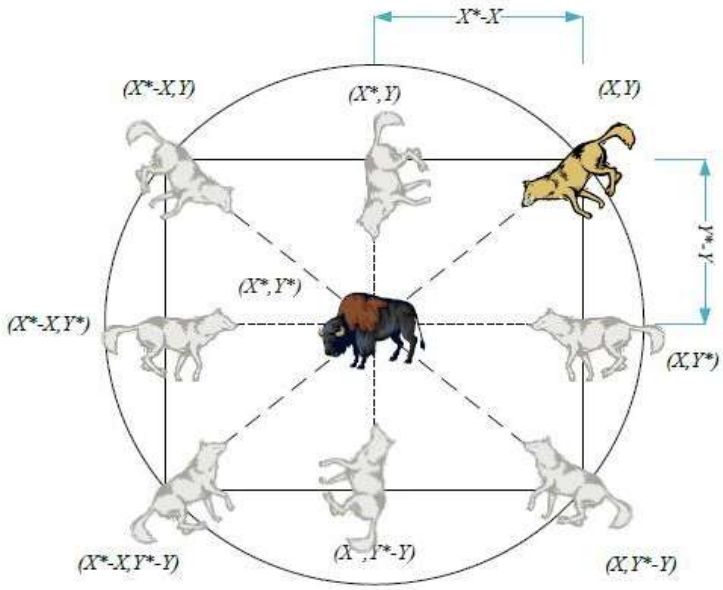
$$k \in \square \quad (۹)$$

معادله (۱) مدل مربوط به تابع هدف اول مدل است، در این تابع هدف میزان سود حاصله از جمع‌آوری پساب های

صنعتی بیشینه‌سازی می‌شود. این تابع هدف از تفاضل درامد و هزینه حمل ونقل بدست می‌آید. معادله (۲) مربوط به تابع هدف دوم مدل است، در این تابع هدف میزان آلایندگی تولید شده توسط ماشین‌های جمع‌آوری پساب کمینه می‌شود. در این تابع هدف میزان مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه به شیب جاده، میزان بار فعلی ماشین جمع آوری پساب و نرخ آلایندگی برای هر واحد مسافت ضرب می‌شود. شیب جاده عددی بین صفر و یک است و شیب جاده با ضرب شدن در ضریب تاثیرگذاری آن به مقدار واقعی تاثیرگذاری شیب جاده بر میزان آلایندگی تولید شده تعدیل می‌شود. بار ماشین هم با ضرب شدن به ضریب تاثیرگذاری آن به مقدار واقعی تاثیرگذاری بار ماشین بر میزان آلایندگی تولید شده تعدیل می‌شود. محدودیت (۳) با در نظر گرفتن سطح خدمات برای ارائه، درصدی از کل مکانهای پساب سرریز را امکان‌پذیر می‌کند. محدودیت (۴) بیان می‌کند که اگر یک مکان پساب بیش‌تر از حد آستانه مجاز سرریز شده باشد، حتما باید توسط ماشین‌های موردنظر جمع‌آوری شود. محدودیت (۵) بیان می‌کند که تعداد یال‌های ورودی به هر مکان پساب j در صورت جمع‌آوری شدن آن برابر ۱ است، در صورت عدم جمع‌آوری برابر صفر است. محدودیت (۶) بیان می‌کند که کل باری که هر ماشین جمع‌آوری می‌کند از ظرفیت کل ماشین کمتر است. محدودیت (۷) به دودویی بودن متغیرهای x_{ij} اشاره می‌کند. محدودیت (۸) بیان می‌کند که متغیر g_i یک متغیر دودویی است. محدودیت (۹) بیان می‌کند که متغیر k یک عدد طبیعی است.

۴-۲- روش پیشنهادی

مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری (MOGWO) حل خواهد شد. این الگوریتم، همانند الگوریتم گرگ خاکستری تک هدفه (GWO) با یک جمعیت اولیه P که به طور تصادفی تولید شده اند، شروع می شود. در گام بعدی جمعیت تولید شده از دید توابع هدف تعریف شده ارزیابی می‌شوند. در مدل پیشنهادی، یک تابع هدف مینیمم‌سازی و یک تابع هدف ماکزیمم‌سازی داریم. پس از تقسیم‌بندی جمعیت به دسته‌های متفاوت با کاربرد فرآیند مرتب‌سازی نامغلوب Non dominated sorting پارامتر کنترلی به نام موقعیت گرگها برای تشخیص موقعیت طعمه را محاسبه می‌کنیم. این پارامتر برای هر عضو در هر گروه محاسبه می‌شود و بیانگر اندازه‌ای از نزدیکی گرگ‌های الفاف بتا و گاما نسبت به طعمه‌های مورد نظر می‌باشد. مقدار بزرگ این پارامتر منجر به واگرایی و گستره بهتری در مجموعه‌ی اعضای جمعیت خواهد شد. از طرفی در این الگوریتم، از میان جواب‌های هر جمعیت گرگ P_E ، تعدادی از آن ها با استفاده از روش تصادفی توسط بردار $\vec{c}$ انتخاب می‌شوند. در روش انتخاب تصادفی، در جواب به تصادف از میان جمعیت انتخاب می‌شوند و سپس میان این دو جواب، مقایسه‌ای انجام می‌شود و هر کدام که بهتر باشد، نهایتا انتخاب می‌شود. معیارهای انتخاب در الگوریتم MOGWO در درجه‌ی اول، فاصله گرگ‌ها از هم برای شکار طعمه و در درجه دوم فاصله‌ی طعمه است. هر چقدر فاصله گرگ‌ها از هم برای شکار طعمه جواب کمتر باشد و دارای فاصله‌ی طعمه کمتری باشد، مطلوب‌تر است. با تکرار عملگر انتخاب تصادفی بر روی جمعیت هر دسته گرگ، مجموعه‌ای از گرگهای آن جمعیت برای شکار انتخاب می‌شوند. لازم به ذکر است که هیچ کدام از جواب‌های جبهه پارتو، بر دیگری ارجیت ندارند و بسته به شرایط، می‌توان هر کدام را به عنوان یک تصمیم بهینه در نظر گرفت. رویکرد کلی این الگوریتم در شکل شماره (۱) زیر نشان داده شده است.



شکل ۱. شکل مکانیزم عملکرد الگوریتم MOGWO

۵- ارائه نتایج

مدل مساله یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته سبز چند هدفه، تک دوره‌ای و چند محصولی است. در جدول (۲) مقادیر اولیه برخی از پارامترهای اصلی ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای اولیه

پارامتر	نماد	مقدار
هزینه جابه‌جایی وسایل نقلیه برای هر واحد مسافت طی شده (دلار)	C	۱۵۰۰۰
درآمد برای هر کیلوگرم پساب تصفیه شده جمع‌آوری شده (دلار)	R	۶۰۰۰۰
جریمه برای استفاده از ماشین‌ها (دلار)	Ω	۲۵۰۰۰
ظرفیت ماشین‌های جمع آوری پساب با واحد کیلوگرم	Q	۵۰۰۰
چگالی پساب با واحد کیلوگرم بر مترمکعب	B	۱۹۰
فاصله بین دو گره i و j (کیلومتر)	dij	۴
مقدار پساب قرارگرفته در مکان مورد نظر i با واحد کیلوگرم	Si	۳,۵
پیش‌بینی نرخ انباشت روزانه مکان پساب صنعتی i	ai	۷

در جدول (۳) پارامترهای اولیه الگوریتم MOGWO ارائه شده است.

جدول (۳): تنظیم پارامترهای اولیه MOGWO

پارامتر	مقدار
تعداد گرگ	۱۰۰
تعداد تکرار	۱۰۰۰
اندازه مخزن[1]	۱۰۰
پارامتر تورم شبکه[2] (α)	۰,۱
تعداد شبکه به ازای هر بُعد	۱۰
پارامتر فشار انتخاب رهبر (β)	۴
فشار انتخاب اعضا مخزن[3] (γ)	۲

از طرف دیگر، از آنجا که مدل پیشنهادی دارای چند سطح مختلف بر اساس ۱۰ مکان کاندید پساب و ۵ وسیله نقلیه می‌باشد، جریان جمع‌آوری پساب‌ها بر اساس تعداد مکان تخلیه و جمع‌آوری، تعیین می گردد. از این رو در جدول (۴) میزان ظرفیت هر ۱۰ ماشین جمع‌آوری پساب مورد نظر ارائه شده است.

1. Repository Size
2. Grid Inflation Parameters
3. Repository Member Selection Pressure

جدول ۴. میزان انباشتگی پساب در ماشین‌های جمع‌آوری پساب

ماشین جمع آوری پساب	چگالی پساب جمع آوری شده در آن
۱	176
۲	329
۳	427
۴	729
۵	102
۶	356
۷	449
۸	224
۹	234
۱۰	332

بر اساس جدول فوق، مشخص است که ماشین جمع‌آوری اول دارای پساب‌هایی به چگالی ۱۷۶ گیلوگرم بر مترمکعب، ماشین دوم دارای پساب‌هایی به چگالی ۳۲۹ گیلوگرم بر مترمکعب و به همین شکل تا انتها می‌باشد. لازم به توضیح است که بیشترین زمان لازم برای بازدید سطل هر ماشین جمع آوری، ۸ ساعت می‌باشد. نکته دیگری که می‌بایست به آن توجه شود این است که از آنجا که تعیین مقادیر اولیه مدل در حل مساله بصورت کاملا تصادفی توسط الگوریتم گرگ خاکستری انجام می شود، ممکنه است دارای جواب غیر معقول یا Infeasible شود که الگوریتم بلافاصله در راستای غلبه بر آن عمل می‌کند تا به جواب Feasible برسد. این پروسه در طول ۳۰۰ بار تکرار برای الگوریتم درنظر گرفته شده است. بر این اساس در جدول (۵) نتایج حاصل از اجرای مدل با الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری برای هر ۲ تابع هدف مشخص ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از حل مساله با الگوریتم گرگ خاکستری (MOGWO)

تابع هدف	تابع هدف هزینه (دلار)	تابع هدف انتشار آلاینده (PPM)
مقدار	۱۰۹۸۱۱۸۵	۱۱۷۴۴

همانطور که در جدول (۵) نشان داده شده است، برای مدل پیشنهادی با مثال عددی درنظر گرفته شده، نتایج مطلوب ارائه شده است. در جدول (۶) مقادیر جمع‌آوری و انتقال پساب‌ها توسط ماشین‌های مخصوص ارائه شده است. بر اساس این جدول می‌توان مشخص نمود که قرار نیست تمام خودروها تمام مکان های کاندید پساب را بازدید نمایند، بلکه کافیست که هر خودرو بتواند با مسیریابی تعیین شده، به نزدیکترین مکان مخصوص جمع‌آوری پساب رجوع کرده و آن ها را جمع آوری نماید. این امر سبب کاهش هزینه و انتشار آلاینده خواهد شد.

جدول ۶. انتقال پساب (کیلوگرم بر مترمکعب) از مکان‌های کاندید پساب توسط خودروها

	خودروی اول	خودروی دوم	خودروی سوم	خودروی چهارم	خودروی پنجم
مکان های کاندید پساب	۰	۰	۰	۱۷۶	۰
	۰	۰	۲	۰	۳۲۷
	۴۲۷	۰	۰	۰	۰
	۶۹۱	۰	۰	۰	۳۸
	۰	۰	۰	۹۶	۶
	۲۷۷	۰	۰	۰	۷۹
	۴۴۹	۰	۰	۰	۰
	۰	۰	۰	۰	۲۲۷
	۹	۰	۰	۰	۲۲۵
	۰	۰	۰	۰	۳۳۲

بر اساس جدول فوق، مشخص می‌شود که تمام پساب‌های انباشته شده در ماشین اول که برابر با ۱۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است (جدول ۴) توسط خودروی چهارم جمع‌آوری شده است. و یا اینکه ۲۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب موجود در مکان نهم، از طریق جمع‌آوری دو خودرو که ۹ کیلوگرم بر مترمکعب توسط خودروی اول و ۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب توسط خودروی دوم، تخلیه شده است. در این جدول هم مجموع هر سطر برابر با میزان چگالی انباشتگی پساب‌ها در هر ماشین می‌باشد که بر اساس مدل پیشنهادی بطور کامل جمع‌آوری شده است.

۶- نتیجه گیری

پساب‌ها بخصوص پساب‌های صنعتی به عنوان مخزن میکروارگانیسم‌های بیماری زا قادر به ایجاد آلودگی وعفونت هستند. درصورتی که مدیریت دفع پساب از نظر بهداشت و سلامت مناسب نباشد، این میکرو ارگانیسم ها می‌توانند از طریق هوا وآب و... ویا به وسیله ناقلین به دیگران منتقل شوند. درصورتی که جمع‌آوری و دفع پساب اصولی انجام نگیرد تبعات وخطرات بهداشتی و زیست محیطی گسترده تری داشته وسلامت وحیات انسان و موجودات زنده را به خطر خواهد انداخت. لذا بررسی سیستم‌های مدیریت جمع‌اوری و دفع پساب بخصوص در روستاها که از امکانات کمتری برای مکانیزه کردن این سیستم برخوردارند حائز اهمیت می‌باشد. مدیریت صحیح (جامع) آب و پساب که جهت سلامت انسان و توسعه اقتصادی لازم است، در بسیاری از کشورهای دنیا یک مسئله بسیار بحرانی می باشد. اگرچه در کشورهای صنعتی کنترل آب و پساب به یک حد تقریبا استانداردی رسیده، اما در کشورهای کم در آمد و با در آمد متوسط هنوز مشکلات شدیدی در مورد تامین آب و مدیریت پساب وجود دارد، به طوری که ۲ میلیارد نفر در جهان یعنی دو سوم کل جمعیت جهان فاقد سیستم تصفیه پساب هستند. از طرف دیگر در این کشورها سیستم تامین چآب نسبت به سرویس‌های بهداشتی جمعیت بیشتری را تحت پوشش قرار می دهند. درصد نسبتا بالای دسترسی جمعیت به آب سالم در کشورهای کم در آمد و با در آمد متوسط در مقایسه با دسترسی به سرویس‌های بهداشتی بیانگر این است که در این کشورها تامین آب دارای اولویت بیشتری است و بهسازی و تصفیه پساب اهمیت کمتری دارد. این به دلیل آن است که برخی کشورها هنوز تامین آب را به بهسازی و در واقع سود مستقیم را به سود غیر مستقیم ترجیح می‌دهند. در این پژوهش مدلی هوشمند برای برنامه ریزی و سرمایه گذاری زیرساخت های شهری جمع‌اوری پساب‌های سطحی و میزان تاثیر آن بر انتشار آلایندگی پرداخته شد. بر این اساس، بعد از مرور ادبیات و ارایه پیشینه تحقیق به ارایه مدل دو هدف شامل هزینه های سرمایه گذاری و انتشار آلایندگی پرداخته شد. در این تحقیق پس از جمع‌آوری اطلاعات مدل‌سازی، و با درنظرگیری فرضیات مساله، قادر به تعیین کاهش هزینه‌های جمع‌اوری پساب‌های سطحی و کاهش انتشار آلاینده به محیط بر اساس تعیین مسیر بهینه ماشین‌های جمع اوری پساب می باشد. از طرفی به دلیل ماهیت NP-Hard بودن مساله، از الگوریتم فراابتکاری گرگ خاکستری چند هدفه به منظور کاهش هر دو تابع هدف تحت سناریوها و شرایط مختلف استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی قادر است مساله در ابعاد مختلف را از نقطه نظر افزایش تعداد ماشین جمع‌اوری پساب، تعداد مکان‌های کامدید جمع‌اوری پساب، افزایش انباشتگی پساب‌ها در مکان‌ها، افزایش تعداد خودرو در شبکه و نیز افزایش فاصله مکان‌های کاندید پساب به نحو مطلوبی تعیین نماید تا تضمین کند تمام پساب‌های انباشته شده در مکان‌های کاندید توسط خودروهای شبکه جمع‌اوری شده‌اند.

منابع

1. Khosravi Rastabi, A., Hejazi Taghanaki, S. R., Sadri, S., Kumar, A., & Arshad, H. (2022). A robust optimization model for a dynamic closed-loop supply chain network redesign using accelerated Benders decomposition. Journal of applied research on industrial engineering, 9(1), 1-31.
2. Goodarzian, F., & Hosseini-Nasab, H. (2021). Applying a fuzzy multi-objective model for a production–distribution network design problem by using a novel self-adoptive evolutionary algorithm. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 8(1), 1-22.
3. abbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop Supply Chain Network Design under Disruption Risks: A Robust Approach with Real World Application. Computers & Industrial Engineering.
4. Devika, K., Jafarian, A., & Nourbakhsh, V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. European Journal of Operational Research, 235(3), 594-615.
5. Farrokh, M., Azar, A., Janaghi, G. and Ahmadi, E (2017), "A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty", Fuzzy Sets and Systems, In Persian
6. Jung, Y. T., Narayanan, N. C., & Cheng, Y. L. (2018). Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. Journal of environmental management, 213, 90-97.
7. Awad, H., Alalm, M. G., & El-Etriby, H. K. (2019). Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. Science of the Total Environment, 660, 57-68.
8. Zarbakhshnia, N., Kannan, D., Kiani Mavi, R., & Soleimani, H. (2020). A novel sustainable multi-objective optimization model for forward and reverse logistics system under demand uncertainty. *Annals of Operations Research*, *295*(2), 843-880.
9. Zhen, L., Huang, L., & Wang, W. (2019). Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. Journal of Cleaner Production, 227, 1195-1209.
10. Jafar Heydari, Kannan Govindan, Amin Jafari. Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role .2017.
11. Rinaldi, M., & Bottani, E. (2023). How did COVID-19 affect logistics and supply chain processes? Immediate, short and medium-term evidence from some industrial fields of Italy. *International Journal of Production Economics*, *262*, 108915.
12. Ardekani, Z. F., Sobhani, S. M. J., Barbosa, M. W., & de Sousa, P. R. (2023). Transition to a sustainable food supply chain during disruptions: A study on the Brazilian food companies in the Covid-19 era. *International Journal of Production Economics*, *257*, 108782.
13. Delfani, F., Samanipour, H., Beiki, H., Yumashev, A. V., & Akhmetshin, E. M. (2022). A robust fuzzy optimisation for a multi-objective pharmaceutical supply chain network design problem considering reliability and delivery time. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 9(2), 155-179.
14. Kumar, N., Tyagi, M., Sachdeva, A., Kazancoglu, Y., & Ram, M. (2022b). Impact analysis of COVID-19 outbreak on cold supply chains of perishable products using a SWARA based MULTIMOORA approach. *Operations Management Research*, *15*(3-4), 1290-1314.
15. Kabir, M. R., Kamal, M. S., & Islam, M. Z. (2021, July). An Improved Network Design of Open Loop Reverse Supply

Chain. In 2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI) (pp. 1-6). IEEE.
16. Shahbazi, Z., & Byun, Y. C. (2020). A procedure for tracing supply chains for perishable food based on blockchain, machine learning and fuzzy logic. *Electronics*, *10*(1), 41.
17. Santander, P., Sanchez, F. A. C., Boudaoud, H., & Camargo, M. (2020). Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach. *Resources, Conservation and Recycling*, *154*, 104531.
۱۸. امیریان، جواد و عموزاد خلیلی، حسین و مهرابیان، احمد،۱۴۰۲،طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با درنظرگرفتن قیمت گذاری اقتصادی و مسائل زیست محیطی تحت شرایط عدم قطعیت فازی: یک مطالعه موردی در زمینه لاستیک سنگین، نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، مشهد، https://civilica.com/doc/1772948
۱۹. فیض‌الهی، صادق و شرفی، وحید،۱۴۰۲،توسعه مدل ریاضی زنجیره تامین حلقه بسته با محدودیت های تقاضا و ظرفیت تامین‌کننده فازی و حل آن با الگوریتم‌های فرا ابتکاری،https://civilica.com/doc/۱۶۹۵۰۹۳
۲۰. رضانیا، آرین و موسی زاده، محمد،۱۴۰۲،طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته میگو با قابلیت ارتجاعی تحت شرایط عدم قطعیت؛ ارائه یک مدل سه هدفه پایدار،https://civilica.com/doc/۱۶۹۵۰۹۱
۲۱. محبی، پیام و عالم تبریز، اکبر و ارشادی، محمدجواد و عزیزی، امیر،۱۴۰۲،ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زنجیره تامین حلقه بسته تاب‌آور پایدار با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹، https://civilica.com/doc/1695090
۲۲. مدرس، اعظم و بافندگان امروزی، وحیده و مهمی، زهرا و مدرس، آزاده،۱۴۰۲،ارائه مدل برنامه‌ریزی تولید-توزیع یکپارچه زنجیره تامین حلقه بسته محصولات کشاورزی بر اساس تصمیم‌گیری گروهی احتمالی و مسائل زیست محیطی،https://civilica.com/doc/۱۶۹۵۰۸۸