دوماهنامه بررسی‌های بازرگانی
Commercial Surveys Bimonthly
سال بیستم، شماره ۱۱۳، خرداد و تیر۱۴۰۱، ۸۴-۶۹
Vol.20, No.113, June-July 2022, 69-84

مقاله پژوهشی

روش اپسیلون محدودیت جهت مسأله مسیریابی-موجودی داروهای یخچالی و غیریخچالی با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره تأمین سبز

دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱۳

سمیرا کیانی[۱]
پروانه سموئی[۲]، نویسنده مسئول

چکیده

زنجیره تأمین شبکه‌ای از تسهیلات و مراکز توزیع است که عملیات آماده‌سازی، تبدیل مواد خام به محصول و توزیع محصول نهایی به مشتری را انجام می‌دهد. پیشرفت‌های تکنولوژیکی، سازمانی و اقتصادی اخیر در سیستم‌های جامع سلامت، دسترسی بیشتر درمان را برای بیماران فراهم کرده است. با وجود این پیشرفت، بهبود در زیرساخت‌های سلامت و مدیریت زنجیره تأمین اجتناب‌ناپذیر است. لذا استفاده مناسب از داروهای مناسب با ترکیب مناسب برای بیمار مناسب در مقدار مناسب در زمان مناسب برای ایمنی و بهبودی بیماری ضروری است. بنابراین در این مقاله، یک شبکه زنجیره تأمین دارویی با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره تأمین سبز شامل یک داروسازی، یک مرکز توزیع و یک مرکز بازیافت با تعدادی داروخانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد که از دو بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز توزیع برای داروها و مرکز بازیافت برای ضایعات دارویی تشکیل می‌شود. این تحقیق با استفاده از روش اپسیلون محدودیت با نرم‌افزار گمز حل می‌شود و بعد از تحلیل حساسیت با این روش معلوم می‌شود که مهم‌ترین پارامتر، تقاضا و بعد از آن واحد هزینه فروش از دست رفته و واحد هزینه نگهداری است. به‌عبارت دیگر، گمز توانایی حل این مدل را تا پنج گره و یازده دوره دارد.

طبقه‌بندی JEL: C61، R31، R41

مسیریابی-موجودی / تخفیف / زنجیره تأمین سبز / روش اپسیلون‌محدودیت

۱. کارشناس ارشد، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌ومهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران، همدان samirakiany1367@gmail.com
۲. استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌ومهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران، همدان p.samouei@basu.ac.ir

۱. مقدمه: طرح مسأله

در سال‌های اخیر، بخش دارویی تغییرات بنیادی را به‌دلیل مسن شدن جمعیت و افزایش هزینه‌ها در بخش خدمات مراقبت بهداشتی به عهده گرفته است (تیمج‌چی و همکاران، ۲۰۱۷). مسأله توزیع دارو به داروخانه‌ها به‌دلیل تقاضای زمان تحویل کوتاه‌تر، به‌ویژه در نواحی شهری بزرگ بسیار مهم شده است. از آنجایی که داروها موادی شیمیایی هستند، تولید، نگهداری و حمل برخی از داروها دارای آلودگی‌های محیطی می‌باشند، به همین دلیل سعی شده است که انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه برای حمل دارو حداقل شود. همچنین، دو دلیل اصلی برای استفاده از تخفیف در زنجیره تأمین وجود دارد، که عبارت‌اند از: ۱) افزایش و توسعه همکاری به‌منظور افزایش سود زنجیره تأمین، ۲) افزایش سود تأمین‌کننده (جعفرنژاد و همکاران، ۱۳۹۵). چون داروها کالاهایی فاسدشدنی هستند، تخفیف داروخانه‌ها از مرکز توزیع به‌منظور حداقل کردن زیان وارده در نظر گرفته می‌شود. هر موضوعی که به سلامتی انسان و طبیعت مرتبط می‌شود، اصطلاح سبز بودن را در آن تحقیق در بردارد. در این پژوهش موضوع حداقل آلودگی در مسیرهای حمل‌ونقل و جلوگیری از فساد بیشتر داروها توسط تخفیف دادن به مشتریان مورد توجه قرار گرفته است. هدف زنجیره تأمین سبز تنها حفظ محیط زیست نیست؛ بلکه امروزه این مفهوم به‌عنوان یک مزیت رقابتی و یک ارزش تجاری شناخته می‌شود که می‌تواند در موفقیت تجاری نیز نقش داشته باشد. یکی از مشکلات اصلی در اغلب تحقیقات گذشته این است که تعداد سطوح ظرفیت دردسترس را تنها به یک سطح محدود می‌کردند، در حالی که گاهی اوقات به‌دلیل افزایش قیمت مواد اولیه، بلایای طبیعی، وجود رقبا و ... نیاز به افزایش ظرفیت می‌باشد. در عمل می‌توان گزینه‌های مختلف برای ظرفیت مراکز در نظر گرفت. مثلا ظرفیت‌های مختلف برای مرکز توزیع در مدل ریاضی این پژوهش را برای افزایش ظرفیت با مبحث هزینه اجاره انبار در نظر می‌گیریم. لازم به ذکر است که مرکز توزیع برای جلوگیری از فساد دارو، به داروهای یخچالی تخفیف بیشتری می‌دهد تا آنها کمتر نگهداری شوند. همچنین، هزینه‌های نگهداری کالاها وابسته به نوع مواد اولیه و کالاهای واسطه‌ای که در آنها استفاده می‌شود، است. کالاهای واسطه‌ای می‌تواند برای داروهای یخچالی، نیاز به تجهیزات خنک‌کننده داشته باشند، در حالی که داروهای غیریخچالی این‌طور نیست. بعضی از اهداف با یکدیگر در تضاد هستند؛ مثلا زمانی که برای جلوگیری از هزینه موجودی، تعداد وسایل نقلیه بیشتری به کار می‌بریم، میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه زیادتر می‌شود.

۲. مرور ادبیات

به‌دلیل آلودگی‌های حاصل از صنعتی شدن قرن بیست‌ویکم، مطالعات اخیر به موضوع حداقل کردن آلاینده‌های محیطی و حفظ طبیعت پرداخته‌اند. چند نمونه از این مطالعات به این شرح است: کلانتری و پیشوایی (۱۳۹۵) یک مسأله زنجیره تأمین دارو را ارائه کردند. آنها نخست یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چندهدفه به‌منظور کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه کردند. سپس مدل را با برنامه‌ریزی استوار امکانی حل کردند. این محققان در مدل خود تخفیف را به‌این دلیل که دارو یک کالای فاسدشدنی است، نیز درنظرگرفتند. ایمران و همکاران(۲۰۱۸)، نیز یک مدل زنجیره تأمین دارو برای یک سیستم سلامت جامع با شکایات غیرقطعی محصول ارائه دادند که اهداف سه‌گانه کسب‌وکار شامل زمان، هزینه و کیفیت را هم‌زمان توسط روش تعاملی اصلاح‌شده فازی بهینه می‌کرد. سویسال و همکاران (۲۰۱۵)، یک مسأله مسیریابی-موجودی را برای محصولات فاسدشدنی با ملاحظات محیطی و تقاضاها تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند که شامل حداقل

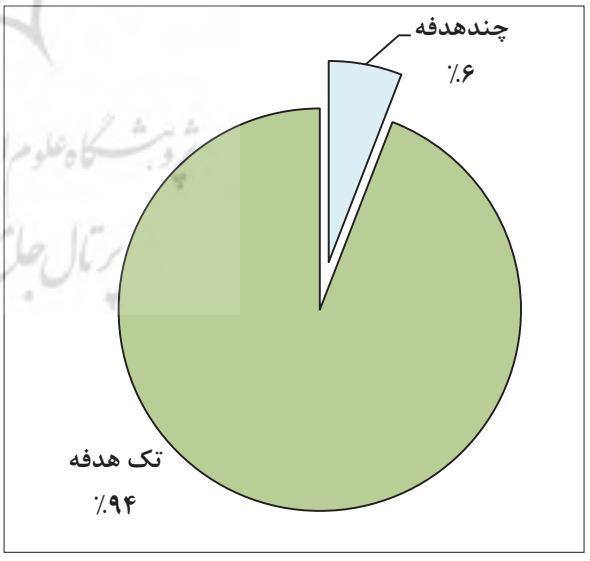
کردن هزینه‌های توزیع و حداقل کردن هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن بود. وکیلی و همکاران (۱۳۹۶)، یک مسأله مسیریابی-موجودی چندمحصوله را برای اقلام دارویی در زنجیره تأمین سرد ارائه کردند و آن را با استفاده از یک روش حل ابتکاری مبتنی بر جست‌وجوی همسایگی انطباقی حل کردند. تیمج‌چی و همکاران (۲۰۱۷)، مسأله مسیریابی-موجودی را برای داروهای مربوط به بیماران سرطانی درنظر گرفتند که با الگوریتم ژنتیک پیوندی آن را حل کردند و روش LP-متریک را نیز برای موازنه بین دو هدف استفاده کردند. چنگ و همکاران (۲۰۱۶)، قوانین انتشار کربن روی مسأله مسیریابی-موجودی سنتی را تحلیل کردند و با این قوانین، یک سیستم مرکز جمع‌آوری کالای نامحدود و مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان را که از نظر جغرافیایی پراکنده هستند، مدل کردند.

به‌طور کل، در زمینه سیستم‌های سلامت تحقیقات کمی شده است و این موضوع از موضوعات جدید می‌باشد. از آنجایی که دارو یک کالای فاسدشدنی است، کاهش زمان تحویل این محصول به مشتری از اهمیت بسیاری برخوردار است، در نظر گرفتن مسائل مسیریابی-موجودی باعث تسریع رسیدن دارو به‌دست مصرف‌کننده می‌شود. موضوع تخفیف باعث می‌شود که قبل از فساد دارو، خریدار قادر به خرید دارو با هزینه کمتر شود. همین‌طور؛ از آنجایی که فساد دارو اثرات شیمیایی زیان‌باری برای محیط زیست دارد، قرار است که حداقل کردن آلاینده‌های زیست‌محیطی در این پژوهش نیز به علاوه حداقل هزینه‌های موجود در زنجیره تأمین دارو مدل‌سازی شود و با روشی مناسب حل شود. هر چه قدر که زمان سپری می‌شود و محیط زیست با خطرات جدیدتر و بیماری‌های ناشناخته‌ای مثل کرونا و ... مواجه می‌شود، محققین بیشتر احساس می‌کنند که لازم است در زمینه مسیریابی-موجودی یا سیستم‌های سلامت یا ترکیب هر دو موضوع مطالعاتی انجام دهند. مثلا چند نمونه از مطالعات در زمینه مسائل مسیریابی-موجودی در ادامه بیان می‌شود که عبارتند از: نیستانی و همکاران (۲۰۱۹)، یک الگوریتم جدید برای برنامه‌ریزی اقتصادی محصول واحدهای حرارتی ارائه کردند. مسأله آنها، یک مسأله بهینه‌سازی غیرخطی و محدود بود و هدف، حداقل کردن هزینه و انتشار گازهای آلوده‌کننده در زمان تولید بود که الگوریتم پیشنهادی آنها الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع دو (NSGA-II) اصلاح‌شده بود. گونانتارا و همکاران (۲۰۱۹)، در انتخاب بین دو مسیر موقتی، روش‌های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) را تحلیل کردند. بین سه الگوریتم استفاده شده در مطالعه آنها، کلونی مورچگان زمان بیشتری از دو الگوریتم استفاده شده دیگر داشت. مسعود و همکاران (۲۰۱۹)، برای حل مسأله مسیریابی شبکه‌های سنسور بی‌سیم (WSNs)، یک الگوریتم فراابتکاری به نام الگوریتم موقعیت انعکاس صدای دلفین (DEA) را پیشنهاد کردند. مارک‌یوس و همکاران (۲۰۱۹)، مسأله گردش پرواز (FTP) را معرفی و فرمول کردند که هدف، پیدا کردن بهترین برنامه زمانی، مسیر و مجموعه پروازها برای هر درخواست پرواز چندشهری نامقید بود. آنها برای حل آن، از الگوریتم‌های تکاملی استفاده کردند. سندامورثی و همکاران (۲۰۱۹)، یک الگوریتم ترکیبی از جستجوی عمومی و محلی برای بهینه‌سازی مسیرهای تعمیم‌یافته از طریق روش بهینه‌سازی علف با یک عملگر دونقطه‌ای بهینه را ارائه کردند. شمس‌الدین و همکاران (۲۰۱۹)، یک الگوریتم جدید به نام الگوریتم بهینه‌سازی قاچاق‌چی و الاغ (DSO) برای رفتارهای حمل‌ونقل از قبیل جستجو و انتخاب مسیر ارائه کردند. سیم‌سیر و اکمکسی (۲۰۱۹)، برای حل مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با برداشت و تحویل هم‌زمان یک الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC) را ارائه کردند. بارما و همکاران (۲۰۱۹)، یک مسأله مسیریابی وسیله نقلیه چندانباره با سطح همگن وسایل نقلیه را مدل‌سازی ریاضی کردند و برای حل

آن، از الگوریتم بهینه‌سازی گسسته مورچه‌شیر (DALO) استفاده کردند. کرک‌استاس و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل عدد صحیح مختلط برای مسأله مسیریابی-موجودی-مکان‌یابی با برون‌سپاری توزیع ارائه کردند. رشید و همکاران (۲۰۱۹)، یک سیستم پشتیبان تصمیم هوشمند و پویا برای برنامه‌ریزی خدمت‌دهی به بیماران با بیماری‌های متفاوت توسعه دادند که شامل مسیریابی و انتخاب وسیله نقلیه و طبقه‌بندی اقلام دارویی با توجه به ارزش آنها و خرید، نگهداری و تولید داروها بود. آزاده و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل از مسأله مسیریابی-موجودی را با حمل‌ونقل مرکب در حضور یک محصول فاسدشدنی تنها ارائه کردند. در این مسأله، تصمیمات موجودی و مسیریابی وسیله نقلیه درطی افق برنامه‌ریزی به‌طور همزمان انجام می‌شدند تا تقاضای مشتریان تحت سیاست حداکثر سطح، تأمین شوند. به‌دلیل ماهیت NP-hard بودن مسأله یک روش مبتنی‌بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله پیشنهاد شد که پارامترهای الگوریتم پیشنهاد شده با استفاده از رویکرد طراحی تاگوچی برای رسیدن به بهترین راه‌حل تعیین شدند. هو و توریلو (۲۰۱۸)، یک مدل پیشنهاد دادند که مسیریابی-موجودی و تثبیت قیمت حمل را برای کالاهای فاسدشدنی با یک دوره عمر ثابت ادغام می‌کرد و برای حل مسأله از الگوریتم جستجوی محلی استفاده کردند و همچنین، زنجیره‌های تأمین با محصولات فاسدشدنی در تحقیقات مختلف مطالعه شدند. رحیمی و همکاران(۲۰۱۶)، یک مدل ریاضیاتی دوهدفه جدید را با در نظر گرفتن ارتباطی که به مسائل اقتصادی و محیطی در توزیع محصولات فاسدشدنی با تاریخ انقضای مشخص در مسائل IRP دارند، پیشنهاد دادند که اهداف مسأله شامل حداقل کردن هزینه‌های سنتی موجودی و توزیع و حداکثرسازی مسائل اجتماعی بودند. پایی و همکاران (۱۳۹۳)، یک مسأله یکپارچه تولید مسیریابی-موجودی در زنجیره تأمین چندمحصولی دوسطحی را با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی مدل‌سازی کردند و آن را با الگوریتم ژنتیک در ابعاد بزرگ حل کردند. شافعیان و اعتباری (۱۳۹۴)، یک مدل انتخاب تأمین‌کننده در مسأله مسیریابی-موجودی چنددوره‌ای را با رویکرد سبز بررسی کردند که شامل هدف حداقل‌سازی هزینه‌های نگهداری و حمل‌ونقل بود و مدل را با نرم‌افزار گمز حل کردند. زمانی و علینقیان (۱۳۹۴)، یک مسأله مسیریابی-موجودی سبز را با ناوگان ناهمگن مدل کردند که علاوه‌بر کمینه کردن هزینه‌های نگهداری و حمل‌ونقل، سعی کردند با توجه به مسائل زیست‌محیطی یعنی کاهش مصرف سوخت، حداقل کردن تولید آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای را مدل‌سازی کنند. برای درنظرگرفتن این جنبه‌های محیطی در مسأله مسیریابی-موجودی از مدل میکروسکوپیک انتشار کیفیت جامع استفاده شد. در مطالعه‌ای دیگر، همین مسأله را با الگوریتم تکاملی کوانتوم حل کردند. منساکیس و همکاران (۲۰۲۱)، یک مسأله مسیریابی-موجودی مبتنی بر یک فرمول جریان دوکالایی را به‌صورت مدل ریاضی ارائه و مسأله را با استفاده از شاخه و کران بهبودیافته حل کردند. وادسد و همکاران (۲۰۲۱)، یک فرابتکاری تکراری برای مسأله مسیریابی-موجودی ارائه کردند. باران و ملو (۲۰۲۱)، یک روش ابتکاری موثر و سریع مبتنی بر مسائل عدد صحیح مختلط برای یک مسأله مسیریابی-موجودی دوره‌ای و انتخابی در لجستیک معکوس ارائه کردند. پرس و پرس (۲۰۲۱)، یک مسأله مسیریابی-موجودی برای عرضه درگاه‌های آلمان را به‌صورت مدل ریاضی ارائه کردند. ویدیادانا و همکاران (۲۰۲۱)، یک مسأله مسیریابی-موجودی برای اقلام فاسدشدنی با نرخ تقاضای پویا و نرخ فساد را به‌صورت مدل ریاضی ارائه و آن را با الگوریتم ژنتیک و توده ذرات حل کردند. هروود و همکاران (۲۰۲۱)، فرمول‌بندی و حل کردن مسائل مسیریابی در کامپیوترها را تشریح کردند. فریسک (۲۰۲۱)، روش‌های راه‌حل برای یک مسأله مسیریابی-موجودی ناوگان نیروی دریایی را تشریح کرد. گورتو (۲۰۲۱)، فرضیه تغییرات در

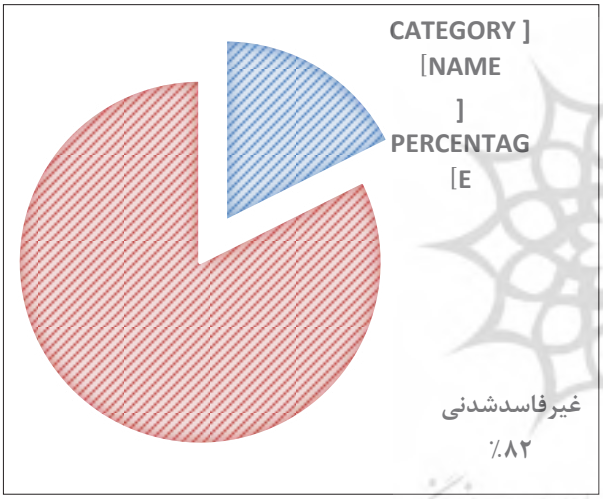
هزینه‌های نگهداری موجودی در یک انبار در دو صنعت مبتنی بر ماهیت فیزیکی و قیمت محصولات را مورد بررسی قرار داد. سلمان خان و همکاران (۲۰۲۱)، کاربرد روش‌های دقیق و چندهیوریستیکی برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار را در قالب یک مدل ریاضی تشریح کردند. ساروار و همکاران (۲۰۲۱)، نیز کاربرد الگوریتم‌های برگرفته از طبیعت برای سناریوهای کنترل موجودی چندهدفه را در قالب یک مدل ریاضی تشریح کردند.

از آنجایی که اهداف معمولا با یکدیگر در تضاد هستند، بسیاری از مطالعات به دنبال روش‌هایی هستند که با استفاده از آنها بتوانند به یک حل مطلوبی از هر یک از اهداف موجود در مسأله برسند، که از مطالعه‌های صورت‌گرفته در این مقاله، همان‌طور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، بیشتر این مطالعات یک هدف را بهینه می‌کنند. بهینه‌سازی چندهدفه باعث می‌شود که یک تقریب بهینه از اهداف موجود در مسأله به‌دست آید که به آن راه‌حل رضایت‌بخش گفته می‌شود.



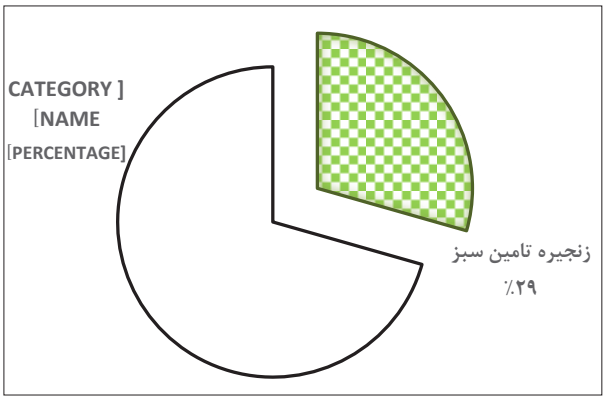
نمودار ۱- دسته بندی براساس تعداد اهداف

زمانی که در مسائل مسیریابی-موجودی با کالاهای فاسدشدنی سروکار داریم، انتخاب مسیر خیلی مهم‌تر می‌شود؛ چون در صورت انتخاب مسیر نادرست ممکن است این کالاها فاسد شوند و تأمین‌کننده متحمل ضرر شود و یا اینکه، نگهداری این موجودی‌ها به مدت طولانی باعث فاسد شدن آنها می‌شود. اما در زمینه مسیریابی-موجودی کالاهای فاسدشدنی تحقیقات کمی وجود دارد؛ طبق نمونه‌های مطرح‌شده در نمودار (۲)، درصد خیلی کمی به کالاهای فاسدشدنی اختصاص یافته است و بیشتر مطالعات روی مسیریابی-موجودی کالاهای غیرفاسدشدنی می‌باشد.



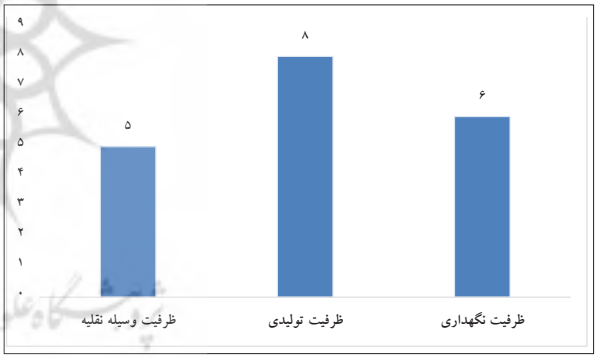
نمودار ۲- دسته‌بندی براساس نوع کالا

حال به سبز بودن در این نمونه مطالعات با نتیجه‌ای که خلاصه‌شده، توجه می‌کنیم و مشخص است که اکثر مطالعات، سبز بودن را در نظر نمی‌گیرند. با توجه به نمودار (۳) کاملا آشکار است که با وجود اینکه در زمینه‌های مسیریابی، موجودی و مسیریابی-موجودی مطالعات زیادی انجام شده است، اما مباحث مسیریابی-موجودی با در نظر گرفتن حداقل کردن میزان آلاینده‌ها که به آن سبز بودن می‌گویند، کم کار شده است.



نمودار ۳-دسته‌بندی مقالات مطالعه شده براساس سبزبودن و غیرسبزبودن زنجیره تأمین

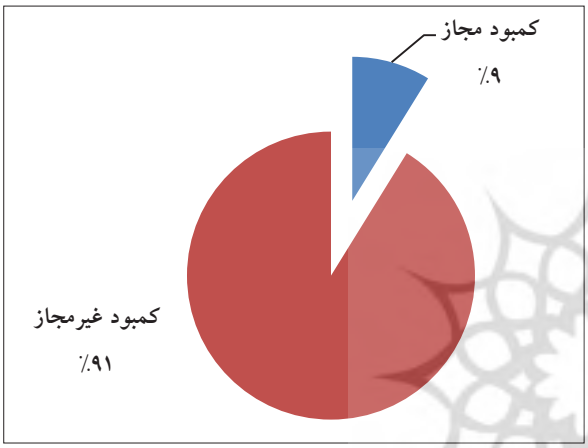
یکی از مشکلات اصلی در اغلب تحقیقات گذشته این است که تعداد سطوح ظرفیت در دسترس را تنها به یک سطح محدود می‌کردند، ولی در عمل می‌توان گزینه‌های مختلف برای ظرفیت انبارها و کارخانه‌ها در نظر گرفت.



نمودار ۴-انواع ظرفیت در مطالعات

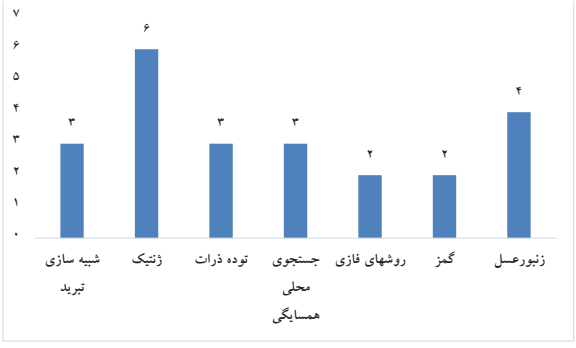
با توجه به نمودار (۴) در این مطالعات هر کدام از این ظرفیت‌های در نظر گرفته شده انواع مختلفی دارند که عبارت‌اند از: ظرفیت وسیله نقلیه، ظرفیت تولید و نگهداری؛ که با توجه به نوع ظرفیت، مدل ریاضی حاصل می‌تواند متفاوت از سایرین باشد. معمولا در مسائل مسیریابی و مسیریابی-موجودی، ظرفیت وسیله نقلیه را در نظر می‌گیرند.

کمبودهای دارو یک مسأله چندبعدی است که می‌تواند شامل دلایلی از قبیل مدیریت ضعیف زنجیره تأمین دارو، سیاست‌ها و قوانین دولتی نامناسب در رابطه با کمبودها، تدارکات و حاشیه‌های پایین سود بعضی داروهای اساسی باشد که این مقاله می‌تواند توصیه‌هایی را برای پیشگیری از کمبودهای دارویی درنظر بگیرد. با توجه به نمودار (۵) درصد خیلی کمی از این مطالعات، کمبود را در نظر گرفته‌اند و بقیه در مسائل مرتبط با مسیریابی-موجودی کمبود را لحاظ نکرده‌اند.



نمودار ۵-کمبود مجاز و غیرمجاز در مطالعات

مسائل هر کدام از نمونه مطالعات موجود با توجه به شرایطی که محققین برای آنها تعریف کرده‌اند، با یک روش حل متفاوتی می‌توانند حل شوند که نمودار فراوانی به‌دست آمده از مطالعات مطرح شده مرتبط با این مقاله، به‌صورت نمودار (۶) می‌باشد.



نمودار ۶-فراوانی روش‌های استفاده شده در مطالعات

در این پژوهش، چگونگی استفاده از مسأله مسیریابی-موجودی در سیستم توزیع دارو بررسی شده است. مسائل برای کالاهای فاسدشدنی مثل دارو، اهمیتی دوچندان دارد؛ زیرا در نظر گرفتن مسائل مسیریابی و موجودی به‌طور هم‌زمان، زمان تحویل را سریع‌تر می‌کند و از فساد بیشتر اقلام تا حد زیادی جلوگیری می‌کند.

یکی از راه‌های کاهش فساد در نظر گرفتن تخفیف می‌باشد که با مطالعات مورد بررسی، می‌توان متوجه شد که تخفیف در مسأله مسیریابی-موجودی زنجیره‌های تأمین بسیار کم در نظر گرفته شده است؛ این پژوهش در نظر دارد که تخفیف را در مدل خود لحاظ کند.

گاهی تقاضا برای داروها در نوسان است یعنی در برهه‌ای از زمان به دلایلی مثل شایع شدن یک بیماری خاص نیاز به دارو افزایش می‌یابد. طبق مطالعات اشاره شده در مرور ادبیات، افزایش ظرفیت در مطالعات کمی مطرح شده است. برای همین در این پژوهش؛ با در نظر گرفتن هزینه اجاره انبار، این موضوع لحاظ می‌شود که برای مرکز توزیع در زمان افزایش ظرفیت، انبار اجاره می‌شود.

زنجیره تأمین دارو به معنای مسیری است که از طریق آن محصولات دارویی با کیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در بین مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند. در گذشته شرکت‌های داروسازی مفهوم مدیریت زنجیره تأمین دارو را نادیده می‌گرفتند اما در حال حاضر عوامل متعددی شرکت‌های داروسازی را به تغییر روش‌های مرسوم کسب‌وکار خود سوق می‌دهد که یکی از این عوامل زنجیره تأمین است که در حال تبدیل شدن به یک مزیت رقابتی است. بیشتر تحقیقاتی که در زمینه زنجیره تأمین دارو صورت گرفته است، در حوزه قوانین مربوط به ایمنی و اثربخشی است.

به‌طور کل، در زمینه سیستم‌های سلامت مرتبط با مباحث علمی مهندسی صنایع تحقیقات کمی شده است. همچنین تحقیقات کمی هستند که سبز بودن زنجیره تأمین را هم‌زمان با مباحث مسیریابی-موجودی یا تخفیف مورد بررسی قرار دهند.

۳. تعریف مسأله

حمل مواد فاسدشدنی به‌دلیل هزینه‌های بالای توزیع، از حساس‌ترین مقولات حمل‌ونقل بوده و بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به همین علت وجود یک برنامه‌ریزی منسجم در مسیریابی وسیله حمل در توزیع این نوع محصولات، همواره مورد استفاده شرکت‌های تولیدی محصولات فاسدشدنی می‌باشد(یحیی‌زاده، ۱۳۸۸ و حق‌وردی، ۱۳۹۲).

زنجیره موردنظر شامل دو حلقه است: حلقه بین مرکز توزیع و داروخانه‌ها، حلقه دیگری بین اجزای حلقه کوچک همراه با در نظر گرفتن یک مرکز داروسازی و بازیافت ضایعات دارویی. تلاش در این مسأله این است که مسافت حمل‌ونقل بین مراکز توزیع، بازیافت، داروخانه‌ها و داروسازی حداقل شود تا هزینه و میزان انتشارات ناشی از وسایل نقلیه مورد استفاده حداقل شوند.

هزینه‌های جابه‌جایی مسأله شامل دو نوع است: نوع اول هزینه‌های ثابت مثل هزینه بیمه ماشین‌ها و حقوق ثابت رانندگان، نوع دوم هزینه‌های متغیر که وابسته به عوامل دیگری مثل مسافت یا مقدار و ... هستند که هر چه قدر مسافت بیشتری طی شود، هزینه‌های متغیر مسأله مسیریابی بیشتر خواهد شد.

مفروضات مورد استفاده دیگر این تحقیق به شرح زیر وجود دارد:

- هزینه‌های کمبود و نگهداری برای داروهای مرکز توزیع و داروخانه‌ها لحاظ می‌شود.
- مسیریابی شامل دو بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز توزیع و مرکز بازیافت می‌باشد.
- برای مسیریابی وسایل نقلیه مرکز توزیع جهت حمل دارو، مسیرهای بین مرکز توزیع و داروخانه‌ها ولی برای مرکز بازیافت جهت دریافت و حمل ضایعات دارویی تمام گره‌ها مطرح است.
- مشکلی از نظر تعداد وسیله نقلیه در مرکز توزیع و مرکز بازیافت وجود ندارد. وسایل نقلیه موجود همگن هستند.

- وسایل نقلیه داروسازی، دارو را خیلی سریع تا قبل از اینکه تاریخ انقضایش بگذرد، تحویل مرکز توزیع می‌دهد. مرکز توزیع نیز با تخفیف مقداری به داروخانه‌ها از فساد بیشتر داروها جلوگیری می‌کند.
- به‌دلیل نوسانات تقاضا، افزایش ظرفیت تقاضا در این تحقیق در نظر گرفته می‌شود و با هزینه اجاره انبار در مدل ریاضی لحاظ می‌شود.
- سطح موجودی داروها در آغاز افق برنامه‌ریزی معلوم هستند.
- تمام ارسال‌ها در ابتدای یک دوره زمانی و هزینه‌های کمبود و موجودی در پایان دوره در نظر گرفته می‌شوند.
- مدت زمان بارگذاری و تخلیه وسیله نقلیه ناچیز هستند.

نمادهای ریاضی استفاده شده

اندیس‌ها و مجموعه‌هایی که در مدل ریاضی این تحقیق استفاده می‌شود، عبارتنداز:

i, j اندیس‌های مربوط به گره‌ها

t اندیس دوره زمانی

Tp اندیس تعداد داروهایی که بر اساس حادثه آسیب می‌بینند و به‌عنوان دارو قابل استفاده به‌عنوان دارو نیستند $Tp \in E$

p اندیس داروها

v اندیس وسیله نقلیه $v \in V$ که V مجموعه وسایل نقلیه مرکز توزیع است

v' اندیس وسیله نقلیه $v' \in V'$ که V' مجموعه وسایل نقلیه مرکز بازیافت است.

J مجموعه داروخانه‌ها

O مرکز توزیع و $J' = J \cup \{0\}$ مجموعه داروخانه‌ها و مرکز توزیع

O'' مرکز بازیافت موجود در زنجیره تأمین مورد نظر مسأله

$J'' = J \cup \{0\} \cup \{0'\}$ مجموعه داروخانه‌ها، مرکز توزیع و مرکز داروسازی

$S = J'' \cup \{0''\}$ مجموعه تمام گره‌های موجود در زنجیره

$P = \{0,1\}$ مجموعه بسته‌های دارویی که ۰ یخچالی و ۱ غیریخچالی است

همچنین پارامترهایی که در مدل ریاضی این تحقیق استفاده می‌شوند، عبارتنداز:

d_{jpt} تقاضای داروی نوع p توسط گره j در دوره $t \in T$

R_{ij} مسافت بین دو گره i, j (کیلومتر)

h_{ip} واحد هزینه نگهداری یک بسته داروی p (واحد پول) برای داروخانه j

π_{jp} واحد هزینه کمبود فروش از دست رفته یک بسته داروی p (واحد پول) برای داروخانه j

mp ظرفیت نگهداری داروی p مرکز توزیع (تعداد بسته)

u واحد قیمت هر لیتر سوخت مصرفی وسایل نقلیه

$a_{\tau p}$ قیمت واحد فروش تخفیف پیشنهاد شده توسط مرکز توزیع به گره j برای داروی p در دوره t با T_p داروی p قابل استفاده به‌عنوان دارو

F هزینه ثابت هر وسیله نقلیه در هر سفر مثل هزینه بیمه یا حقوق ثابت راننده و ...

P_o نرخ مصرف سوخت در حالت خالی بودن از بار (لیتر بر کیلومتر)

P نرخ مصرف سوخت در حالت بار داشتن (لیتر بر کیلومتر)

O_p واحد هزینه اجاره انبار مرکز توزیع برای داروی p

$L_{\tau p}$ حد پایین بازه تخفیف k به گره j برای تعداد بسته داروی p در دورهt

$U_{\tau p}$ حد بالای بازه تخفیف k به گره j برای تعداد بسته داروی p در دوره t

ε_o مقدار انتشار CO_2 حاصل از وسایل نقلیه مرکز توزیع از انتخاب مسیری بین مرکز توزیع و داروخانه‌ها (کیلوگرم دی‌اکسیدکربن بر لیتر)

$\varepsilon_{o''}$ مقدار انتشار CO_2 حاصل از وسایل نقلیه مرکز بازیافت از انتخاب مسیری بین گره‌های زنجیره (کیلوگرم دی‌اکسیدکربن بر لیتر)

X ظرفیت وسایل نقلیه مرکز توزیع (تعداد بسته)

A ظرفیت وسیله نقلیه مرکز بازیافت

ηt مقدار ضایعات دارو در دوره t

M عدد بی‌نهایت بزرگ

R_{ij} مسافت بین گره i و گره j

R_{oi} مسافت بین مرکز توزیع و داروخانه i

$\beta = \frac{\rho - \rho_0}{\chi}$

نهایتا متغیرهایی که در مدل ریاضی این تحقیق استفاده می‌شود، عبارتند از:

$x_{ijtv} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر گره j بلافاصله بعد از گره i در دوره $t \in T$ توسط وسیله نقلیهv مرکز توزیع ویزیت شود، برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر است.

$y_{ijtv'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر گره j بلافاصله بعد از گره i در دوره $t \in T$ توسط وسیله نقلیه v' مرکز بازیافت ویزیت شود، برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر است.

$Q_{ijpt\tau p}$ تعداد بسته داروی حمل شدهp از گره i به گره j در دوره t با Tp دوره زمانی باقیمانده تا پایان عمر داروی p

$g_{ijtv'}$ مجموع ضایعات دارو که وسیله نقلیه مرکز بازیافت در دوره $t \in T$ از گره i به گره j توسط وسیله نقلیه v' مرکز بازیافت حمل می‌کند (تعداد بسته)

$I_{jpt\tau p}$ سطح موجودی داروی p در دوره t برای گره j با Tp دوره زمانی باقیمانده تا پایان عمر دارو

B_{jpt} سطح کمبود (موجودی منفی) داروی p در دوره t برای گره j

$\mu_{\tau p}$ متغیر تعیین حد بالا یا پایین بازه تخفیف با Tp دوره زمانی باقیمانده تا پایان عمر دارو

σ_{itv} اگر گره i در دوره t توسط وسیله نقلیه v مرکز توزیع ویزیت شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

$\beth_{jtv'}$ اگر گره j در دوره t توسط وسیله نقلیه v' مرکز توزیع ویزیت شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

b_{opt} میزان کمبود مرکز توزیع برای داروی p در دوره $t \in T$

ψ_p ظرفیت انبار برای مرکز توزیع.

مدل ریاضی مسأله

عنوان این پژوهش با توجه به مطالعه ایمران و همکاران (۲۰۱۸)، شکل و ایده آن بر اساس مطالعات محب‌علیزاده گشتی (۲۰۱۸)، چنگ و همکاران (۲۰۱۶)، کلانتری و پیشوایی (۱۳۹۵) و مدل ریاضی آن بر اساس چند مطالعه ارائه شده است. مطالعاتی که برای مدل ریاضی این پژوهش از آنها استفاده شده است، عبارت‌اند از: چنگ و همکاران (۲۰۱۶)، تیمج‌چی و همکاران (۲۰۱۷)، وکیلی و همکاران (۱۳۹۶) و محب‌علیزاده گشتی (۲۰۱۸). در منبع محب‌علیزاده گشتی (۲۰۱۸). محدودیت‌های مربوط به تخفیف و بقیه منابع برای محدودیت‌های مسیریابی استفاده شده است.

تفاوت این مقاله با ایمران و همکاران (۲۰۱۸)، محب‌علیزاده گشتی (۲۰۱۸) و هادیان و همکاران (۲۰۱۸) در نوع اهداف و اضافه شدن مبحث مسیریابی است و همچنین با منبع وکیلی و همکاران، تیمج‌چی و همکاران (۲۰۱۷) و چنگ و همکاران (۲۰۱۶) که مسائل مسیریابی را مدل ریاضی کرده‌اند، در این است که این مقاله مبحث تخفیف را وارد بحث مسائل مسیریابی-موجودی کرده است. مطالعات کمی هستند که در زمینه مسیریابی-موجودی بحث تخفیف را وارد مسأله مسیریابی-موجودی کرده باشند.

تفاوت این پژوهش با منابع دیگر در این است که این مقاله به‌طور همزمان مبحث تخفیف، افزایش ظرفیت، سبز بودن را وارد بحث مسائل مسیریابی-موجودی کرده است. مطالعات کمی هستند که در زمینه مسیریابی-موجودی تمام بحث‌های ذکر شده را با هم داشته باشند.

$$\boldsymbol{min\ Z_1} =$$
$$\sum_{i\in J'}\sum_{\substack{j\in J'\\ i\neq j}}\sum_{t\in T}\sum_{v\in V} F.x_{ijtv} + \sum_{i\in S}\sum_{\substack{j\in S\\ i\neq j}}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'} F.y_{ijtv'} +$$
$$u\Bigg(\sum_{i\in J'}\sum_{\substack{j\in J\\ i\neq j}}\sum_{\tau_p\in E}\sum_{t\in T}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P}\beta R_{0i}Q_{0jpt\tau_p}x_{ijtv} + \sum_{i\in J''}\sum_{\substack{j\in J''\\ i\neq j}}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\rho_0 R_{ij}\,y_{ijtv'} +$$
$$\sum_{i\in J''}\sum_{\substack{j\in J''\\ i\neq j}}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\beta R_{ij}\,y_{i0''tv'}g_{i0''tv'} + \sum_{i\in J''}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\rho_0\,R_{i0''}y_{i0''tv'} +$$
$$\sum_{i\in J''}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\beta R_{i0''}g_{i0''tv'}y_{i0''tv'} +$$
$$\sum_{i\in J}\sum_{t\in T}\sum_{v\in V}\rho_0 R_{0i}\,x_{0itv} + \sum_{j\in J''}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\rho_0\,R_{0''j}y_{0''jtv'}\Bigg) + \sum_{j\in J'}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T}\sum_{\tau_p\in E} h_{jp}\,I_{jpt\tau_p} +$$
$$\sum_{j\in J'}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T}\pi_{jp}\,B_{jpt} + \sum_{p\in P}O_p\,\psi_p + \sum_{\tau_p\in E}\sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T}a_{\tau_p}Q_{0jpt\tau_p} \quad (۲)$$
$$\min Z_2 = \sum_{i\in S}\sum_{\substack{j\in S\\ i\neq j}}\sum_{t\in T}\sum_{v'\in V'}\varepsilon_{0''}\,R_{ij}y_{ijtv'} + \sum_{\substack{i\epsilon J''\\ i\neq j}}\sum_{j\epsilon J''}\sum_{t\epsilon T}\sum_{v\in V}\varepsilon_0\,R_{ij}x_{ijtv} \quad (۳)$$

ST

$$\sum_{v\in V}\sigma_{itv} = 1; \forall i\in J, t\in T \quad (۴)$$
$$\sum_{v'\in V'}ב_{jtv'} = 1; \forall j\in J'', t\in T \quad (۵)$$
$$\sum_{j\in S}y_{ijtv'} = \sum_{j\in S}y_{jitv'}\,; \forall t\in T, v'\in V', i\in S \quad (۶)$$
$$\sum_{i\epsilon J'}x_{ijtv} = \sum_{i\epsilon J'}x_{jitv}\ \ \forall t\epsilon T, v\in V, j\in J \quad (۷)$$
$$\sum_{i\epsilon \boldsymbol{J}}x_{0itv}\leq 1\ \ \forall t\epsilon T, v\in V \quad (۸)$$
$$\sum_{j\epsilon J''}y_{0''jtv'}\leq 1\ \ \forall t\epsilon T, v'\in V' \quad (۹)$$
$$\sum_{j\in J}\sum_{p\in P}Q_{0jpt\tau_p}\leq \sum_{j\in J}\chi \mathrm{x}_{0\mathrm{jtv}}\ \ \forall \mathrm{t}\epsilon \mathrm{T}, v\in V, \tau_p\in\{1,\dots,E_p\} \quad (۱۰)$$
$$\sum_{\substack{i\in J''\\ \mathrm{i}\neq \mathrm{j}}}\sum_{j\in J''}\mathrm{g}_{\mathrm{ijtv}'}\leq \sum_{i\in J''}\sum_{j\in J''}\Lambda \mathrm{y}_{\mathrm{ijtv}'}\ \ \forall \mathrm{t}\epsilon \mathrm{T}, v'\in V' \quad (۱۱)$$
$$\sum_{\tau_p\in E}\mu_{\tau_p} = 1 \quad (۱۲)$$
$$g_{0'0tv'} = \eta_t; \forall t\in T, v'\in V' \quad (۱۳)$$
$$L_{\tau_p}\leq Q_{0jpt\tau_p} + M\mu_{\tau_p}\,; \forall p\in P, t\in T, j\in J, \tau_p\in E \quad (۱۴)$$
$$Q_{0jpt\tau_p}\ \leq U_{\tau_p} + M(1-\mu_{\tau_p})\,; \forall p\in P, t\in T, j\in J, \tau_p\in E \quad (۱۵)$$
$$\sum_{\tau_p=\alpha_p}^{E_p}I_{0pt\tau_p} + \sum_{\tau_p=\alpha_p}^{E_p}Q_{0'0pt\tau_p} + b_{0pt} = \eta_t + \sum_{\tau_p=\alpha_p}^{E_p}\sum_{j\in J}Q_{0jpt\tau_p}\,; \forall p\in P, t\in T \quad (۱۶)$$
$$\sum_{\tau_p=\alpha_p}^{E_p}I_{jpt\tau_p} + \sum_{\tau_p=\alpha_p}^{E_p}\sum_{j\in J}Q_{0jpt\tau_p} + \sum_{j\in J}b_{jpt} + \eta_t\ = \sum_{j\in J}d_{jpt}\,; \forall p\in P, t\in T \quad (۱۷)$$
$$\sum_{p\in P}\sum_{t\in T}\sum_{\tau_p\in E}Q_{0'0pt\tau_p}\geq \sum_{p\in P}\sum_{t\in T}\sum_{\tau_p\in E}Q_{0jpt\tau_p}\,; \forall j\in J \quad (۱۸)$$
$$\sum_{t\in T}\sum_{\tau_p\in E}Q_{0'0pt\tau_p}x_{0'0tv} - \sum_{j\in J}\sum_{t\in T}\sum_{\tau_p\in E}Q_{0jpt\tau_p}\leq \psi_p m_p; \forall p\in P, v\in V \quad (۱۹)$$
$$x_{iitv} = 0, x_{0'jtv} = 0; \forall i\epsilon J', j\in J, t\epsilon T, v\in V \quad (۲۰)$$
$$g_{0''jtv'} = 0; \forall j\in J'', t\in T, v'\in V' \quad (۲۱)$$
$$y_{iitv'} = 0, y_{0'jtv'} = 0; \forall i\in S, j\in J, t\in T, v'\in V' \quad (۲۲)$$
$$g_{ijtv'}\geq 0, I_{jpt\tau_p}\geq 0, B_{jpt}\geq 0, \eta_t\geq 0, Q_{ijpt\tau_p}\geq 0; \forall i\in S, j\in S, i\neq j, t\in T, v'\in V', v\in V \quad (۲۳)$$
$$x_{ijtv}\in\{0,1\}, y_{ijtv'}\in\{0,1\}, \mu_{\tau_p}\in\{0,1\}, \sigma_{itv}\in\{0,1\}, ב_{jtv'}\in\{0,1\}; \forall i\neq j, i\in S, j\in S, p\in P, t\in T, v\in V, v'\in V \quad (۲۴)$$

شرایط در نظر گرفته شده در مسأله ریاضی این مقاله برای یک زنجیره تأمین یک‌سطحی دارو به‌عنوان یک کالای فاسدشدنی است. برای محاسبه میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه، سه عامل اصلی روی آن تأثیر می‌گذارد که

عبارتند از: مسافت سفر، بار کامیون و سرعت. در این مطالعه، سرعت سفر را ثابت فرض می‌کنیم و مصرف سوخت را به‌صورت رابطه (۱) مدل می‌کنیم:

$$\text{میزان سوخت مصرفی} = \left(\rho_0 + \frac{\rho-\rho_0}{\chi} Q_{ijt}\right) R_{ij} \quad (۱)$$

چون ضرایب مقدار محصول حمل شده در این معادله ثابت هستند، می‌توان به‌طور کلی، این ضریب را در نظر گرفت(چنگ و همکاران، ۲۰۱۶).

رابطه (۱) به‌طور ضمنی، در توابع هدف یعنی رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده می‌شود. رابطه (۲)، هزینه‌های موجودی، کمبود، مسافت وسایل نقلیه مرکز بازیافت و مرکز توزیع و همچنین، هزینه‌های اجاره انبار و خرید را حداقل می‌کند. رابطه (۳)، مقدار آلاینده حاصل در زنجیره را حداقل می‌کند. رابطه‌های (۴) و (۵) به‌ترتیب نشان می‌دهند که گره‌ها دقیقا توسط یک وسیله نقلیه مرکز توزیع و مرکز بازیافت ویزیت شوند. رابطه‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب بیان‌گر این هستند که مسیرهای ورودی به مرکز بازیافت و توزیع برای جریان ضایعات دارویی و دارویی باید برابر با مسیرهای خروجی ممکن از این مراکز باشند. رابطه‌های (۸) و (۹) به‌ترتیب تضمین می‌کنند که وسایل نقلیه مرکز توزیع و بازیافت در هر دوره زمانی حداکثر یک تور تشکیل دهند. رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) به‌ترتیب محدودیت‌های ظرفیت وسایل نقلیه مرکز توزیع و مرکز بازیافت را نشان می‌دهند. رابطه (۱۲)، نشان می‌دهد که تعداد بسته‌های دارویی p که مرکز توزیع حاضر است به گره j بفروشد، در یک محدوده می‌تواند باشد. رابطه (۱۳) بیان‌کننده مقدار ضایعات موجود در دوره t است. رابطه‌های (۱۴) و (۱۵) به‌ترتیب حدهای پایین و بالای تخفیف را برای مقدار دارویی که مرکز توزیع به داروخانه j می‌فروشد، نشان می‌دهند. رابطه‌های (۱۶) و (۱۷) به‌ترتیب بیان‌گر تعادل موجودی مرکز توزیع و داروخانه‌ها است. رابطه (۱۸)؛ نمایان‌گر این است که مجموع مقدار داروهای ورودی مرکز توزیع باید بزرگتر مساوی با مجموع داروهای خروجی از آن مرکز باشد. رابطه (۱۹)؛ بیان می‌کند که با توجه به حداکثر ظرفیت مرکز توزیع، چه تعداد انبار باید هنگام افزایش ظرفیت توسط مرکز توزیع اجاره شود. رابطه (۲۰)، مسیرهای غیرممکن برای وسایل نقلیه مرکز توزیع را نشان می‌دهد. رابطه (۲۱)، نشان‌گر این است که مرکز بازیافت هنگام شروع کار با خودش ضایعات دارویی حمل نمی‌کند. رابطه (۲۲) مسیرهای غیرممکن وسیله نقلیه مرکز بازیافت را نشان می‌دهد. رابطه‌های (۲۳) و (۲۴) انواع متغیرهای تصمیم مورد نیاز این مسأله را نشان می‌دهند.

۴. اپسیلون محدودیت

روش اپسیلون محدودیت یکی از معروف‌ترین روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مخصوصا برای مسائل ریاضی دوهدفه و ترکیباتی است. روش اپسیلون‌محدودیت اولین بار توسط هیمس، لاسدان و ویسمر در سال ۱۹۷۱ ارائه شده است. طرز کار روش اپسیلون محدودیت به شرح زیر است:

برای مسائل چندهدفه، هر کدام از اهداف به نوبت در جایگاه تابع هدف قرار داده می‌شود و بقیه به‌عنوان محدودیت با یک مقدار سمت راست خیلی کم در اندازه اپسیلون قرار داده می‌شود. این روش به ازای هر تکرار، یک جواب برای اهداف به‌دست می‌آورد. همچنین تعداد تکرار توسط کاربر مشخص خواهد شد.

در این پژوهش، دو هدف حداقل هزینه و حداقل انتشار به روش اپسیلون محدودیت توسط نرم‌افزار گمز حل شده است. لازم به ذکر است که تکرار آخر این روش به‌عنوان جواب بهینه توسط نرم‌افزار گمز گزارش می‌شود.

مزایای الگوریتم اپسیلون محدودیت؛ به‌دست آوردن مقادیر مختلف هدف به ازای هر تغییر مقدار اپسیلون، مشکل‌ساز نبودن تفاوت مقیاس اهداف و به‌دست آوردن مجموعه متنوع‌تر از جواب‌های پارتو هستند.

معایب روش اپسیلون محدودیت می‌تواند این باشد که در بعد بزرگ در زمان معقول قابل اجرا نیست و پیدا کردن مقادیر سمت راست در اهدافی که در مجموعه محدودیت‌ها قرار می‌گیرند، مشکل است.

۵. حل مسأله در ابعاد مختلف و تحلیل حساسیت

در ابتدا یک مسأله ریاضی با دو داروخانه، یک مرکز توزیع، داروسازی و یک مرکز بازیافت را به‌صورت یک مدل ریاضی ارائه کردیم و مدل ریاضی را توسط نرم‌افزار گمز حل کردیم. برای تحلیل حساسیت مسأله نیز این تعداد و پارامترهای مسأله را تغییر دادیم. آخرین جواب بهینه توسط نرم‌افزار گمز با مقدار ۶۳۸۰۷۷ واحد پولی و ۴۰۶۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر لیتر در جدول (۱) می‌باشد.

لازم به توضیح است که مدل پیشنهادی در یک مثال با بعد کوچک، یک حل بهینه با زمان اجرای ۱٫۶۵۶ ثانیه و مقادیر اهداف اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۶۳۸۰۷۷ واحد پولی و ۴۰۶۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر لیتر دارد. حال مدل ریاضی پیشنهادی با روش اپسیلون محدودیت توسط نرم‌افزار گمز با ابعاد کوچک مختلف با استفاده از تغییر تعداد پارامترها و اندیس‌ها حل می‌شود.

جدول ۱-مقادیر مختلف اهداف توسط روش اپسیلون محدودیت توسط گمز

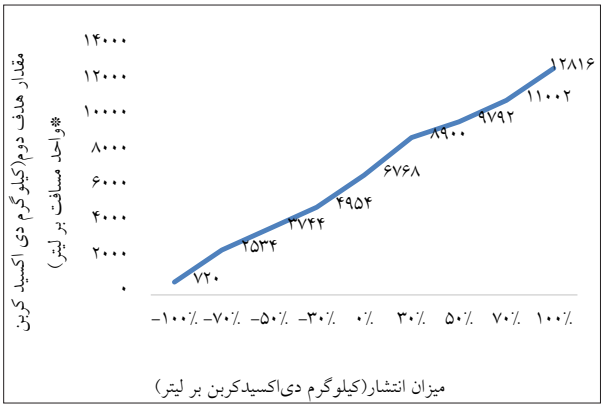
شماره تکرار	مقدار هدف اول(واحد پول)	مقدار هدف دوم(کیلوگرم دی‌اکسید کربن*واحد مسافت بر لیتر)
۱	۵۵۱۹۸۵	۸۳۵۸
۲	۵۶۹۹۸۵	۸۰۴۰
۳	۵۸۷۹۸۵	۷۷۲۲
۴	۶۰۵۹۸۵	۷۴۰۴
۵	۶۲۳۹۸۵	۷۰۸۶
۶	۶۳۸۰۷۷	۴۰۶۸

برای تحلیل حساسیت در کوچک‌ترین بعد مسأله یعنی با دو داروخانه و سه دوره برنامه‌ریزی، پارامترهای موجود در مدل تغییر داده می‌شود و در جدول (۲)، اثر تغییرات این پارامترها بر روی مقادیر هدف اول (هزینه بر حسب واحد پول) نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر هدف دوم (میزان انتشار بر حسب گیلوگرم دی‌اکسیدکربن در واحد مسافت بر لیتر) به ازای تغییر این پارامترها برابر با مقدار ثابت ۴۰۶۸ است.

جدول ۲- اثر تغییر پارامترها بر هدف اول برای مسأله با ابعاد کوچک با روش اپسیلون محدودیت

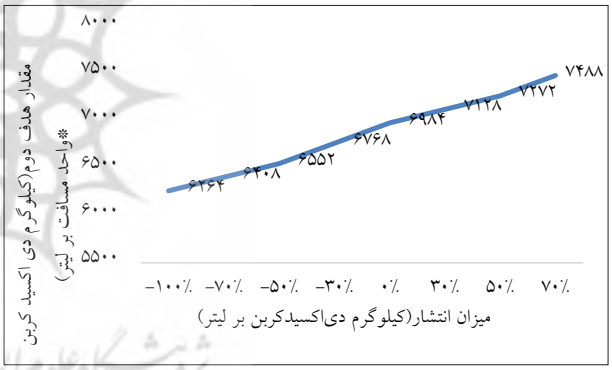
پارامترهای مدل	مقدار هدف اول (هزینه برحسب واحد پول)			
	۱۰۰٪کاهش	۵۰٪کاهش	۵۰٪افزایش	۱۰۰٪افزایش
F هزینه ثابت	۱۶۸۴۹۵	۴۰۵۲۴۰	۸۷۸۷۳۱	۱۰۲۸۵۶۴
ظرفیت وسیله نقلیه مرکز بازیافت	نشدنی	۲۴۴۰۹۹	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷
نرخ مصرف سوخت خالی	۱۶۸۴۹۵	۴۰۵۲۴۰	۸۷۸۷۳۱	۱۰۲۸۴۵۶۴
نرخ مصرف سوخت با بار	۲۴۸۳۰۳	۵۳۱۷۶۴	۶۵۵۹۷۰	۶۸۸۶۰۴
میزان انتشارآلاینده ناشی از وسایل نقلیه مرکز توزیع و تولید دارو	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷
میزان انتشار آلاینده ناشی از وسایل نقلیه مرکز بازیافت	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷	۶۳۸۰۷۷
قیمت واحد سوخت	۳۴۹۶۴	۳۸۱۹۳۰	۹۰۲۰۴۰	۱۱۶۲۰۹۵
قیمت واحد تخفیف	۶۳۸۰۰۰	۶۳۸۰۳۸	۶۴۲۲۵۵	۶۴۲۶۱۵
ظرفیت انبار	نشدنی	۶۳۸۰۰۰	۶۴۲۰۰۳	۶۴۲۰۲۲
واحد هزینه اجاره انبار	۶۳۸۰۰۰	۶۳۸۰۶۰	۶۴۲۰۰۳	۶۴۲۰۲۲

همچنین؛ میزان انتشار ناشی از وسیله نقلیه مرکز توزیع و مرکز بازیافت به‌ترتیب در نمودار (۷) و (۸) نشان داده شده است: لازم به ذکر است که هدف اول به ازای تغییرات این پارامترها ثابت می‌ماند. نشان می‌دهد که با افزایش میزان انتشار دی‌اکسید کربن، تابع هدف دوم به شکل صعودی افزایش می‌یابد.



نمودار ۷-تحلیل حساسیت میزان انتشار دی اکسید کربن وسیله نقلیه مرکزتوزیع با استفاده از روش اپسیلون¬محدودیت برای تابع هدف دوم

نمودار (۷) نشان‌دهنده این است که به ازای هر مقدار از میزان انتشار دی‌اکسید کربن مقدار تابع هدف دوم بیشتر می‌شود.



نمودار ۸-اثرتغییر مقدار انتشار دی اکسید کربن وسیله نقلیه مرکزبازیافت برای تابع هدف دوم

نمودار (۸) نیز همچنان یک روند صعودی برای هدف دوم را نشان می‌دهد، با این تفاوت که شیب آن کمتر است. تغییر مقادیر هر پارامتر که تا اینجا بررسی کردیم، فقط مقادیر هدف اول یا دوم را به ازای کاهش یا افزایش، تغییر می‌دهد. در ادامه، افزایش تعداد پارامترها بررسی می‌شود که روی مقادیر هدف اول و دوم چه تأثیری دارد.

جدول ۳-تحلیل حساسیت مدل ریاضی با استفاده از روش اپسیلون محدودیت در گمز

پارامترها و ابعاد آنها	مقدار هدف اول(واحد پول)	مقدارهدف دوم(کیلوگرم دی‌اکسید کربن*واحد مسافت بر لیتر)
۲ داروخانه و ۳ دوره	۶۳۸۰۷۷	۴۰۶۸
۲ داروخانه و ۴ دوره	۸۲۸۰۲۰	۴۹۴۰
۲ داروخانه و ۵ دوره	۱۹۰۷۲۰۹	۴۹۴۵
۳ داروخانه و ۳ دوره	۶۹۷۳۵۳	۵۳۰۰
۳ داروخانه و ۴ دوره	۱۰۳۰۴۶۸	۵۹۲۵
۳ داروخانه و ۵ دوره	۱۹۶۵۸۰۱	۶۰۰۰
۴ داروخانه و ۳ دوره	۷۴۹۲۷۹	۶۲۳۲
۴ داروخانه و ۴ دوره	۱۲۰۹۳۵۰	۶۹۷۵
۴ داروخانه و ۵ دوره	۲۵۰۷۸۵۴	۷۰۸۰

لازم به ذکر است که به ازای تمام مقادیر این پارامترها به غیر از حالت دو داروخانه و سه دوره برنامه‌ریزی، جواب نزدیک به بهینه وجود دارد(با ۶٫۵ درصد شکاف) و لزوما در این نقاط، جواب مسأله به ازای این نقاط بهینه نیست. همین طور، این پارامترها بر مقدار هدف دوم بی‌تأثیر هستند.

با توجه به اینکه تعداد گره و تعداد دوره برنامه‌ریزی روی پارامترهای تقاضا، واحد هزینه فروش از دست رفته و واحد هزینه نگهداری تأثیرگذار است؛ می‌توان دریافت که مهم‌ترین پارامترها با توجه به حل مدل با نرم‌افزار گمز مطابق با نتایج تحلیل حساسیت مربوط به جدول (۲) است.

لازم به ذکر است که کامپیوتر مورد استفاده، با پردازنده CPU G4400@3.3GHz Intel ® Pentium(R) و حافظه (RAM) GB8 و سیستم عامل Microsoft Windows ten می‌باشد. همچنین حل مدل ریاضی و تحلیل حساسیت‌های مربوطه توسط نرم‌افزار گمز ۶۴ بیتی با سلور لیندو انجام شده است.

همین‌طور لازم به توضیح است که در افزایش تعداد گره‌ها و تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی هر یک از پارامترهای تقاضا، واحد هزینه فروش از دست‌رفته و واحد هزینه نگهداری هر کدام جداگانه از نظر مقدارهای متفاوت نیز می‌توانند حساب شوند و تحت‌تأثیر افزایش یا کاهش آنها، مقادیر اهداف اول (هزینه بر حسب واحد پول)، مقادیر هدف دوم و زمان‌های اجرای مدل توسط روش اپسیلون محدودیت توسط نرم‌افزار گمز تغییر می‌یابند.

۶. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای آتی

زنجیره تأمین شبکه‌ای از مراکز است که برای رسیدن به اهدافی مشترک با یکدیگر همکاری می‌کنند که هر زنجیره تأمینی باید حداقل سه عضو داشته باشد. در این مقاله؛ یک مرکز توزیع، یک مرکز بازیافت و یک داروسازی همراه با تعدادی داروخانه وجود دارد.

در این پژوهش؛ دو هدف وجود دارد: هدف اول حداقل کردن هزینه مسیریابی-موجودی و هدف دوم حداقل کردن میزان انتشار آلاینده‌های محیطی همچون دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل است. در این مقاله هر کدام از این اهداف شامل توضیحاتی است که این توضیحات به‌صورت خلاصه به شرح زیر است:

هدف اول شامل هزینه مسیریابی وسایل نقلیه مراکز بازیافت و توزیع بدون بار و همراه بار با در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت هنگام پر و خالی بودن، هزینه خرید داروخانه‌ها از مرکز توزیع با تخفیف، هزینه اجاره انبار مرکز توزیع هنگام افزایش ظرفیت، هزینه‌های کمبود و موجودی برای مرکز توزیع و داروخانه‌ها است.

هدف دوم شامل حداقل کردن میزان انتشار آلاینده محیطی توسط وسایل نقلیه‌ای است که یا با دارو یا ضایعاتش در این زنجیره سروکار دارند. این میزان انتشار کربن به ازای هر واحد مسافت ازحرکات وسایل نقلیه ایجاد می‌شود که به اندازه میزان لیتری که سوخت مصرف می‌شود، آلودگی در یک واحد وزنی مثلا کیلوگرم ایجاد می‌شود.

مهم‌ترین پارامترها در مدل ریاضی این پژوهش عبارتند از: تقاضا، واحد هزینه نگهداری و واحد هزینه فروش از دست رفته. چون با افزایش تعداد گره‌ها و دوره‌های برنامه‌ریزی، این پارامترها بیشتر بر روی اهداف تغییر ایجاد می‌کنند و علتش وجود اندیس‌های گره و دوره برنامه‌ریزی در آنها می‌باشد. از آنجایی که تقاضا هم اندیس گره و هم اندیس دوره برنامه‌ریزی دارد، از همه پارامترهای مدل مهم‌تر است.

تحقیقات آتی می‌تواند شامل تخفیف زمانی به جای مقداری، حداکثر کردن رضایت مشتریان، تورم، مبحث کالاهای جانشین و مکمل، سیاست‌های دولتی در عرضه دارو، عرضه داروها در بلایای طبیعی مثل زلزله، حداقل کردن ریسک‌های موجود در روند تولیدی دارو، در نظر گرفتن اثر زمانی پول و ... باشند.

به‌طور کلی؛ مسأله مسیریابی-موجودی چندمحصولی (MIRP)، یک مسأله NP-hard است: چون زیرمجموعه آن که مسأله مسیریابی وسیله نقلیه است، از مسائل Np-hard است. بنابراین، برای به‌دست آوردن راه‌حل‌های با کیفیت زیاد و زمان محاسباتی معقول ضروری است که از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده کنیم.

منابع

پایی، علی و پارمیدا اسبقی‌خانقاه. (۱۳۹۳). «مدلسازی و حل مسأله یکپارچه تولید-مسیریابی-موجودی در زنجیره تأمین چندمحصولی دوسطحی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی»، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت و مهندسی صنایع، ۱-۲۰، ۱۵.

حق‌وردی؛ محمد. (۱۳۹۲). «توسعه مدل و حل مسأله مسیریابی وسایل حمل کالاهای فاسدشدنی با وجود پنجره‌های زمانی و دریافت و برداشت هم‌زمان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده فنی‌ومهندسی.

جعفرنژاد، ا و عموزاد مهدیرجی، ح. (۱۳۹۵). «طراحی و کنترل زنجیره تأمین(رویکردی کمی)»، انتشارات تهران، موسسه کتاب مهربان‌نشر، ۲۰۷-۲۶۷.

شافعیان؛ شهیره و فرهاد اعتباری. (۱۳۹۴). «انتخاب تأمین‌کننده در یک مسأله مسیریابی‌موجودی‌چنددوره‌ای با رویکرد سبز»، هشتمین کنفرانس تحقیق‌درعملیات، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۱۸-۱۲۰.

زمانی؛ محسن و مهدی علینقیان. (۱۳۹۴). «مسأله مسیریابی-موجودی سبز با ناوگان ناهمگن»، هشتمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق درعملیات، ۱-۲.

کلانتری، م و پیشوایی، م. (۱۳۹۵). «یک مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین دارو»، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۴(۷)، ۴۹-۶۷.

وکیلی، پ؛ حسینی‌مطلق؛ غلامیان و جوکار. (۱۳۹۶). «ارائه مدل ریاضی مسیریابی-موجودی چندمحصوله برای اقلام دارویی در زنجیره تأمین سرد و روش حل ابتکاری مبتنی‌بر جست‌وجوی همسایگی انطباقی»، ژورنال مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، دوره ۹، شماره ۲، ۳۸۳-۴۰۷.

یحیی‌زاده؛ کامران. (۱۳۸۸). «حل مسأله مسیریابی وسائل حمل کالاهای فاسدشدنی با توجه به معیارهای چندگانه در اولویت‌بندی توزیع با در نظر گرفتن محدوده زمانی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده فنی و مهندسی.

Azadeh, A., Hosseinebadi, M., Nasirian, B., (2017). ”A genetic Algorithm-Taguchi based approach to inventory routing problem of a single perishable product with transshipment”, Computers & industrial engineering, 104,124-133.

Barron, L., Melo, R., (2020), “A fast and effective MIP-based heuristic for a selective and periodic inventory-routing problem in reverse logistics”, Tecnologico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Mexico, 64849, 1-20.

Barma, P.S., Dutta, J., Mukherjee, A., (2019), “A 2-opt Guided Discrete Antlion Optimization Algorithm for Multi-Depot Vehicle Routing Problem”, Decision Making: Applicatios in Management and Engineering, 1-14.

Cheng, C., Qi, M., Wang, X., Zhang, Y., (2016),” Multi-period inventory routing problem under carbon emission regulations”, International Journal Production Economics, 182, 263-275.

Friske, M., (2021), “Solution Methods for a Maritime Inventory-Routing Problem”, The degree of Doctor of Computer Science, Porto Alegre, 1-132.

Gunantara, N., Putra, D., (2019), “The characteristics of Metaheuristic Method in selection of path pairs on multicriteria Ad Hoc Networks”, Hindawi, 1-7.

Gurtu, A., (2021). “Optimization of Inventory Holding Cost Due to price, Weight, and Volume of Items”, Journal of Risk and Financial Management, 1-11.

Hadian, H., Eshraghniaye Jahromi, S., Soleimani, M, (2018). “Order allocation in a multiple-vendor and quantity discount environment: a multi-objective decision making approach”, Management science, letters 8,975-990.

Harwood, S., Cambella, C., Trenev, d., Simonetto, A., Bernal, d., Greenberg, d., (2021). “Formulating and Solving Routing Problems on Quantum Computers”, IEEE Transactions on Quantum Engineering, volume 2, 1-17.

Hu, W., Toriello, A. (2018). “Integrated inventory routing and freight consolidation for perishable goods”, 1-30.

Imran, M., Changwook, K Babar Ramzan, M, (2018),” Medicine supply chain model for an integrated healthcare system with uncertain product complaints”, Journal of Manufacturing Systems 46, 13-28.

Karakostas, P., Sifaleras, A., Georgiadis, M.C., (2019), “A General Variable Neighborhood Search solution approach for the Location-Inventory-Routing Problem with Distribution Outsourcing”, Computers & Chemical Engineering, Elsevier Ltd, Vol.126, 263-279.

Manousakis, E., Repousis, P., Zachariadis, E., Tarantilis, Ch., (2020), “Improved Branch-and-Cut for the Inventory-Routing Problem Based on a Two-Commodity Flow Formulation”, European Journal of Operational Research, 1-42.

Masood, M., Fouad, M.M., Seyedzadeh, S., Glesk, I., (2019), “Energy Efficient Software Defined Networking Algorithm for wireless sensor Networks”, Transportation Research Procedia 00(2019), 1-8.

Marques, R., Russo, L., Roma, N., (2019). “Flying Tourist problem: Flight time and cost minimization in complex routes”, Expert Systems with Applications 130 (2019), 172-187.

Moheb Alizadeh Gashti, H., (2018), «Efficient design of sustainable supply chain networks: development and

Shamsaldin, A., Rashid, T.A., Rawan, A., Nawzad, A.A., (2019), "Donkey and Smuggler Optimization Algorithm: A Collaborative Working Approach to path finding", accepted manuscript, 1-35.

Simsir, F., Ekmekci, D., (2019), "A metaheuristic solution approach to capacitated vehicle routing and network optimization", Engineering science and Technology, an International Journal, 1-9.

Soysal, M., Jacqueline, M., Bloemhof, R., Haijema, R., Jack, G., A., Van, d.v., (2015)," Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty", In.J. Production economics 164,118-133.

Timajchi, A., Seyed M.J.M, Yacine, R., (2017)," Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment option", International Journal of Production.

Vadseth, S., Andersson, H., Stalhane, M., (2021), "An iterative metaheuristic for the inventory-routing problem", 1-25.

Widyadana, I., Wahyudi, K., Sutapa, I., (2020), "An Inventory-Routing Problem for deteriorating items with Dynamic Demand and Spoilage rate", Yugoslav Journal of Operations Research.

extensions», Doctor of Philosophy, Raleigh, North Carolina.

Neyestani, M., Hesari, S., Hatami, M., (2019)," planned production of thermal units for reducing the emissions and costs using the improved NSGA-II method", case studies in Thermal Engineering 13(2019)100397, 1-14.

Prause, F., Prause, G., (2021), "Inventory-Routing Analysis for Maritime LNG Supply of German Ports, Transport and Telecommunication, vol (22), no (1), 1-20.

Rahimi, M., Baboli, A., Rekik, Y., (2016) "Sustainable inventory routing problem for perishable products by considering reverse logistic", papers on line conference paper archive, 49-12,449-954.

Rashid, T., Mohammadi, M., Hassan, M., Fraser, K., (2019), "Improvement of Variant Adaptable LSTM Trained with Metaheuristic Algorithms for Healthcare Analysis", Chapter6, 111-131.

Salman Khan, Khalid, Q., Naeem, Kh., Ahmad, R., Khan, R., Saleem, W., Pruncu, C., (2021), "Application of Exact and Multi-Heuristic Approaches to a sustainable Closed Loop Supply Chain Network Design", Sustainability, 1-25.

Sandamurthy, K., Ramanujam, K., (2019), "A hybrid weed optimized coverage path planning technique for autonomous harvesting in cashew orchards", Information in Agriculture, 1-13.

Sarwar, F., Ahmed, M., Rahman, M., (2021), "Application of nature inspired algorithms for multi-objective inventory control scenarios", International Journal of Industrial Engineering Computations, 12, 91-114.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی