



Multi-Objective Dynamic Recycling-Routing-Inventory for Different Pharmaceutical Items with Considering Discount in a Closed-Loop Supply Chain

Samira Kiani¹, Parvaneh Samouei^{2,*}

¹Msc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

²Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Abstract

In this paper, a closed-loop supply chain for pharmaceutical items consists of a pharmacy, a distribution center, a recycling center and several pharmacy sites is considered in which two types of routing are performed. The first involves the routing of vehicles between the distribution center and the pharmacies, and the second involves the routing of vehicles to the recycling center and all nodes. Two types of pharmaceutical items are considered for this purpose, and their demand varies for different periods. The distribution center can offer discounts depending on the pharmacy orders. In addition, the distribution center can increase its capacity by renting more warehouses. Also, we have two objective functions: minimizing costs and environmental pollutants caused by carbon dioxide emissions. This problem is solved in the small-sized problem by the Epsilon constraint method and in the large cases by two hybrid algorithms based on the Fordyce-Webster algorithms and NSGAII-FW and MOSA and evaluated by different criteria. The computational results show that the NSGAII-FW algorithm is more efficient than the MOSA algorithm.

Keywords: Closed-loop supply chain, Discount, Recycling-routing-inventory, NSGA-II-FW, MOSA.

Original Article

Receive: 29/05/2020

Review: 07/07/2020

Revise: 08/09/2020

Accept: 14/10/2020

Citation:

Kiani, S., & Samouei, B. (2020). Multi-objective dynamic recycling-routing-inventory for different Pharmaceutical Items with considering discount in a closed-loop supply chain. *Decisions & operations research*, 5(3), 290-311.

* Corresponding Author

Email Address: p.samouei@basu.ac.ir

DOI: 10.22105/dmor.2020.237709.1170

بازیافت مسیریابی-موجودی پویای چندهدفه برای داروهای مختلف با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره تأمین حلقه بسته

سمیرا کیانی^۱، پروانه سموئی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^۲ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده

این پژوهش، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته اقلام دارویی شامل یک داروسازی، مرکز توزیع، مرکز بازیافت و تعدادی داروخانه مدنظر است که در آن دو نوع مسیریابی انجام می‌گیرد. نوع اول شامل مسیریابی وسایل نقلیه بین مرکز توزیع و داروخانه‌هاست و نوع دوم به مسیریابی وسایل نقلیه مرکز بازیافت و کلیه مراکز مرتبط می‌گردد. در این مسئله داروهای یخچالی و غیر یخچالی در نظر گرفته شده است که مرکز توزیع می‌تواند با توجه به میزان تقاضاهای متفاوت برای دوره‌های متفاوت تخفیفاتی را در نظر بگیرد. علاوه بر این، مرکز توزیع دارو می‌تواند به دلایلی نظیر وقوع بحران‌هایی مثل زلزله، سیل و ... یا شیوع بیماری‌های مسری همچون کرونا از طریق اجاره انبارهای بیشتر، ظرفیت خود را افزایش دهد. همچنین، این مسئله شامل دو هدف حداقل کردن هزینه‌ها و کاهش میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار دی‌اکسید کربن است. مسئله موردنظر در بعد کوچک با روش اپسیلون محدودیت و در بعد بزرگ با دو الگوریتم هیبریدی فراابتکاری به نام‌های فوردیس و بستر-ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲ (NSGAII-FW) و شبیه‌سازی تبرید چندهدفه (MOSA) حل شده است و توسط معیارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که الگوریتم هیبریدی فراابتکاری NSGAII-FW بر مبنای الگوریتم ابتکاری فوردیس و بستر برای مسائل موجودی و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲ (معمولاً مناسب برای مسائل چندهدفه) ابداع شده است. نتایج محاسباتی و مقایسات نشان می‌دهند که الگوریتم NSGA II-FW کاراتر از الگوریتم MOSA است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین حلقه بسته، تخفیف، بازیافت مسیریابی-موجودی، اپسیلون محدودیت، NSGAII-FW، MOSA.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳

اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

داوری: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱۷

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۹

۱- مقدمه

بهینه‌سازی در مسئله مسیریابی-موجودی کلاسیک، شناسایی بهترین استراتژی برای مدیریت موجودی محصولات و تعیین بهترین آرایش وسایل نقلیه، مسیرها، نوع محصولات و مقدار تحویلی به هر مشتری در راستای حداقل کردن هزینه‌های کل موجودی و حمل‌ونقل است (تیم‌چی و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

^۱Timajchi et al.



امروزه پیشرفت‌های سیستم‌های جامع سلامت، دسترسی بیشتر درمان را برای بیماران فراهم کرده است. ازاین‌رو، بهبود در زیرساخت‌ها و مدیریت زنجیره تأمین سلامت امری اجتناب‌ناپذیر است. ازاین‌رو برخی از محققین به مباحث حوزه زنجیره تأمین سلامت و به‌خصوص دارو که استفاده مناسب از آن برای ایمنی و بهبودی بیماری ضروری است، پرداخته‌اند. به‌طور مثال ایمران و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، 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. سوسا و همکاران^۲ (۲۰۱۱)، به بررسی مسئله تخصیص برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین جهانی یک شرکت داروسازی در سطح تولید در مراکز تولیدی اولیه و ثانویه تا توزیع محصولات به بازارهای فروش پرداختند. مدل آن‌ها به بررسی و کاهش هزینه‌های تولید و توزیع مختلف و همچنین نرخ‌های مالیاتی در مکان‌های مختلف، به‌منظور حداکثرسازی سود خالص شرکت می‌پرداخت. آن‌ها دو الگوریتم تجزیه برای حل مدل ارائه کردند. سوسارلا و همکاران^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین یکپارچه صنایع داروسازی چندملیتی ارائه کردند. مدل آن‌ها سعی می‌کرد برنامه تدارک، تولید و تأمین یکپارچه را با در نظر گرفتن هزینه نگهداری، مالیات و میزان عمر مواد اولیه به‌گونه‌ای طراحی کند که سود کل زنجیره تأمین بیشینه گردد. کلاتری و پیشوایی^۴ (۲۰۱۶) نیز یک مسئله زنجیره تأمین دارو را بررسی 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 به این دلیل که دارو یک کالای فاسدشدنی است، در نظر گرفتند.

در مقاله وکیلی و همکاران^۵ (۲۰۱۷)، یک مدل مسیریابی-موجودی چندمحصوله برای اقلام دارویی در زنجیره تأمین سرد ارائه شد و آن را با استفاده از یک روش حل ابتکاری مبتنی بر جست‌وجوی همسایگی انطباقی حل کردند. تیمج‌چی و همکاران^۶ (۲۰۱۷)، مسئله مسیریابی-موجودی را برای داروهای مربوط به بیماران سرطانی در نظر گرفتند و آن را با الگوریتم ژنتیک پیوندی و روش LP-متریک حل کردند. فاطمی قمی و همکاران^۷ (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره‌ای مسیریابی پرسنل پزشکی را به‌منظور ویزیت بیماران و ارائه خدمات پزشکی ارائه کردند و آن را با الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر حل کردند و عملکرد مدل را با دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و سیستم کلونی مورچگان مقایسه کردند. رشید و همکاران^۸ (۲۰۱۹)، یک سیستم پشتیبان تصمیم هوشمند و پویا را جهت 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.

یکی از مباحث مهمی که در زنجیره تأمین مواد غذایی و دارویی قابل توجه است، پدیده فسادپذیری می‌باشد. فسادپذیری به این خاصیت اشاره می‌کند که بعد از یک دوره زمانی معین، کالا خراب شده و ارزش تجاری، کاربردپذیری و کیفیت خود را از دست می‌دهد (حق‌وردی^۹، ۲۰۱۳؛ یحیی‌زاده^{۱۰}، ۲۰۰۹). حمل مواد فاسدشدنی به دلیل هزینه‌های بالای توزیع، از حساس‌ترین مقولات حمل‌ونقل می‌باشد. به همین علت وجود یک برنامه‌ریزی منسجم در مسیریابی و توزیع این نوع محصولات، همواره مورد توجه شرکت‌های تولیدی محصولات فاسدشدنی و همچنین برخی محققین بوده است. به‌طور مثال، سویسال و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۵)، یک مدل مسیریابی-موجودی برای محصولات فاسدشدنی با ملاحظات محیطی و تقاضا تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند که در آن حداقل کردن هزینه‌های توزیع و حداقل کردن هزینه‌های انتشار دی‌اکسید کربن مدنظر بود. رحیمی و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۶)، یک مدل دو هدفه موجودی-مسیریابی با در نظر گرفتن ارتباطی که این مسئله با مسائل اقتصادی و محیطی در توزیع محصولات فاسدشدنی با

^۱Imran et al.^۲Sousa et al.^۳Susarla et al.^۴Kalantari & Pishvaei^۵Vakili et al.^۶Timajchi et al.^۷Fatemi Qomi et al.^۸Rashid et al.^۹Haghverdi et al.^{۱۰}Yahyazadeh et al.^{۱۱}Soysal et al.^{۱۲}Rahimi et al.

تاریخ انقضای مشخص دارند، پیشنهاد دادند. آزاد و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، مسئله مسیریابی-موجودی با حمل‌ونقل مرکب را برای یک محصول فاسدشدنی ارائه کردند. هو و توریلو^۲ (۲۰۱۸)، مسئله مسیریابی-موجودی و تثبیت قیمت حمل را برای کالاهای فاسدشدنی با یک دوره عمر ثابت بررسی کرده و از الگوریتم جستجوی محلی برای حل کمک گرفتند.

در چند سال اخیر با توجه به پدیده گرمایش زمین و انتشار گازهای گلخانه‌ای، توجه به مسائل زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی جهت انجام امور، به شکلی که گاز دی‌اکسید کربن کمتری ایجاد شود، افزایش یافته است. این موضوع به شکل‌های مختلف نظیر بازیافت مواد، به‌کارگیری وسایل نقلیه دوستدار محیط‌زیست، انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر و کم‌ازدحام‌تر برای وسایل نقلیه و برنامه‌ریزی جهت کاهش دورریزها به‌خصوص برای کالاهای فاسدشدنی موردتوجه سازمان‌ها و محققین بوده است. به‌طور مثال مکرینا و گوریرو^۳ (۲۰۱۸)، یک نوع مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سبز با ارسال جمعیت را معرفی کردند. هدف مسئله، حداقل کردن مجموع هزینه‌های مصرف سوخت، انرژی و محرک‌های موقعیتی در مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی و سنتی بود. فنگ و همکاران^۴ (۲۰۱۷)، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را با در نظر گرفتن مصرف سوخت و سرعت‌های تصادفی لحاظ کردند. در مدل آن‌ها متوسط سرعت از توزیع نرمال پیروی می‌کرد. آن‌ها برای حل مسائل مقیاس کوچک از CPLEX و مسائل مقیاس بزرگ از الگوریتم انجماد تدریجی بهبودیافته استفاده کردند. شافعیان و اعتباری^۵ (۲۰۱۵)، یک مدل انتخاب تأمین‌کننده در مسئله مسیریابی-موجودی چند دوره‌ای را با رویکرد سبز بررسی کردند. همچنین، بالامورگان و همکاران^۶ (۲۰۱۸)، یک مسئله مسیریابی-موجودی را برای حداقل کردن مقدار کلی انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از آلودگی‌های وسایل نقلیه حمل‌ونقل تأمین تقاضا مدل کردند و یک رویکرد حمل‌ونقل دومرحله‌ای برای حل آن ارائه کردند.

به‌طورکلی دو دلیل اصلی استفاده از تخفیف در زنجیره تأمین، افزایش و توسعه همکاری و افزایش سود تأمین‌کننده است (جعفرنژاد و مهدیرجی^۷، ۲۰۱۶). با این حال مقالات زیادی در این حوزه منتشر نشده‌اند. از مقالات این بخش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

هادیان و همکاران^۸ (۲۰۱۸)، یک رویکرد چندهدفه با در نظر گرفتن تخفیف برای کالاهای فاسدشدنی ارائه دادند که با استفاده از AHP، معیارهای کیفی را به معیارهای کمی تبدیل می‌کرد و برای هر تابع هدف، وزنی متناسب با آن به دست می‌آورد. سپس به کمک روش پارامتریک، یک جواب قابل قبول برای کل مسئله به دست می‌آورد. ویکاکسونو و همکاران^۹ (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح در مسئله انتخاب پویای تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تخفیف برای مسئله اندازه انباشته با چند تأمین‌کننده، چند دوره، چند محصول در مدیریت زنجیره تأمین ارائه دادند. کیانی^{۱۰} (۲۰۱۹)، یک مسئله مسیریابی وسایل نقلیه را به‌صورت مدل ریاضی ارائه کردند و آن را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبورعسل مصنوعی حل کردند. بوزیانه و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۰)، یک مسئله چندهدفه مسیریابی وسایل نقلیه برای تحویل محصولات دارویی را به‌صورت مدل ریاضی ارائه و برای حل آن از یک روش جستجوی محلی چندهدفه بهبودیافته استفاده کردند. بابایی تیرکولایی و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۰)، یک مسئله مسیریابی مبتنی بر ترافیک برای توزیع محصولات فاسدشدنی را ارائه و مسئله را در بعد کوچک توسط نرم‌افزار گمز حل کردند.

^۱ Azadeh et al.

^۲ Hu & Toriello

^۳ Macrina & Guerriero

^۴ Feng et al.

^۵ Shafeian & Etebari

^۶ Balamurugan et al.

^۷ Jafarnejad & amoozad Mahdirji

^۸ Hadian et al.

^۹ Wicacsono et al.

^{۱۰} Kiani

^{۱۱} Bouziane et al.

^{۱۲} Babae Tirkolaee et al.



معنوی زاده و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، یک مسئله مسیریابی-موجودی-مکان‌یابی سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های حمل‌ونقل و پنجره زمانی را به صورت مدل ریاضی ارائه و آن را با دو الگوریتم فراابتکاری به نام‌های الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲ حل کردند. ایمران و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، یک مسئله مسیریابی-موجودی در زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی تحت شرایط عدم قطعیت هزینه را به صورت مدل ریاضی ارائه و آن را با روش تعاملی اصلاح‌شده فازی حل کردند.

همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهند، می‌توان دریافت که علیرغم اهمیت موضوع دارو در زنجیره تأمین سلامت، مقالات زیادی نیستند که این حوزه را بررسی نموده باشند. علاوه بر این، از میان این مقالات نیز مقاله‌ای که به ماهیت دارو از نظر نحوه نگهداری (در شرایط و محیط معمولی و یا نیاز به یخچال) توجه داشته باشد، یافت نشد. همچنین در بین مقالات، مقاله‌ای دیده نشد که بحث تخفیف را برای زنجیره تأمین دارو لحاظ نموده باشد. از سویی با توجه به ماهیت فسادپذیری و صد البته نیاز مبرم بیماران به دارو بحث کنترل موجودی از منظر میزان سفارش‌ها مناسب جهت حداقل‌سازی هزینه‌ها (خرید، کمبود و نگهداری) در کل زنجیره بسیار حائز اهمیت است. چراکه ممکن است گاهی کمبود برخی داروها مثل دارویی که برای یک بیماری تازه کشف شده باشد، جان برخی از بیماران را به خطر اندازد. این موضوعی است که باعث شده است در این تحقیق مبحث موجودی مدنظر قرار گیرد. به علاوه در میان تحقیقات این حوزه، مقاله‌ای پیدا نشد که به دلیل رعایت مسائل زیست‌محیطی، از دو منظر بازیافت و همچنین انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از انتقال داروها و یا مواد بازیافتی را مدنظر قرار داده باشد. علاوه بر این، با مطالعات مقالات دریافتیم که معمولاً ظرفیت در نظر گرفته شده برای مراکز به یک سطح محدود بوده است، درحالی‌که گاهی اوقات به دلیل مواردی نظیر افزایش قیمت، بلایای طبیعی و وجود رقبای، شیوع بیماری‌های واگیردار مثل کرونا و ... نیاز به افزایش ظرفیت مراکز از طریق اجاره و یا خرید محیط فیزیکی بیشتر لازم است. تمام این موارد، باعث شده است که در این مقاله، این موضوعات موردتوجه قرار گیرد.

۲- تعریف مسئله

همان‌طور که پیش از این نیز بیان گردید، مسئله بازیافت، موجودی و مسیریابی به‌طور هم‌زمان در سیستم‌های سلامت به خصوص در بخش دارو به کار نرفته است.

به‌طور کل می‌توان گفت کمبود دارو یک مسئله چندبعدی است که می‌تواند دلایلی از قبیل مدیریت ضعیف زنجیره تأمین، سیاست‌ها و قوانین نامناسب در رابطه با کمبود و حاشیه سود پایین بعضی داروهای اساسی داشته باشد که این پژوهش روی مدیریت مناسب زنجیره تأمین جهت مواجهه با کمبود دارو که می‌تواند جان بیماران را به خطر اندازد، تمرکز کرده است. از سوی دیگر در این تحقیق به مقوله تخفیف نیز پرداخته شده است که از دو منظر قابل بررسی است. از منظر اول با تخفیف مقداری که به داروخانه‌ها داده می‌شود، باعث می‌گردد داروخانه‌ها بتوانند داروی بیشتری را خریداری کنند و از این نظر با کمبود کمتری مواجه شوند و دارو راحت‌تر در اختیار بیماران قرار گیرد. اما از منظر دوم فوایدی است که برای مرکز توزیع دارد. چراکه با فروش و خارج شدن بیشتر داروها، مرکز توزیع می‌تواند هزینه نگهداری و نیاز به در اختیار داشتن و یا اجاره انبارهای بیشتر را کاهش دهد. این موضوع با توجه به اینکه دارو یک کالای فاسدشدنی است و هزینه‌های نگهداری آن به مراتب خسارات بیشتری را می‌تواند در پی داشته باشد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

مسیریابی در این پژوهش شامل دو بخش است: تعیین مسیر از مرکز توزیع به داروخانه‌ها و مسیریابی از مرکز بازیافت به داروخانه‌ها، مرکز توزیع و داروسازی. آشکار است که هزینه مصرف سوخت، یکی از هزینه‌های مسائل مسیریابی است. در میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه، سه عامل مسافت سفر، بار و سرعت آن لحاظ گردیده است. در این مطالعه، سرعت سفر ثابت فرض شده و مصرف سوخت به شرح زیر به دست می‌آید:

^۱Manavizadeh et al.

^۲Imran et al.

$$FC_{ijt} = \left(\rho_0 + \frac{\rho - \rho_0}{\chi} Q_{ijt} \right) R_{ij} \quad (1)$$

جدول ۱- جزئیات مقالات مطالعه شده در زمینه مسیریابی-موجودی.

Table 1- Details of articles studied in the field of routing-inventory.

نویسندگان (سال)	سبز بودن	تخفیف	نوع ظرفیت	فاسد شدنی	فرض کمبود	توضیحات
سوسا و همکاران (۲۰۱۱)				×		
سوسارلا و همکاران (۲۰۱۲)				×		حل با یک روش ابتکاری
یحیی زاده (۲۰۰۹)			وسیله نقلیه	×		الگوریتم ژنتیک
حق وردی (۲۰۱۳)			وسیله نقلیه	×		الگوریتم ژنتیک ترکیبی بهبود یافته و استاندارد.
شافعیان و اعتباری (۲۰۱۵)	×		وسیله نقلیه، تولید و انبار			
سویسال و همکاران (۲۰۱۵)	×			×		شبیه سازی تبرید
چنگ و همکاران ^۱ (۲۰۱۶)	×		وسیله نقلیه			ژنتیک پیوندی
فاطمی قمی و همکاران (۲۰۱۶)						جستجوی همسایگی متغیر
کلانتری و پیشوایی (۲۰۱۶)	×	×	تولید و انبار	×	×	برنامه ریزی استوار امکانی
رحیمی و همکاران (۲۰۱۶)	×			×		روش مجموع وزنی
وکیللی و همکاران (۱۳۹۶)			وسیله نقلیه و انبار			جستجوی همسایگی انطباقی
فنگ و همکاران ^۲ (۲۰۱۷)						شبیه سازی تبرید
آزاده و همکاران (۲۰۱۷)				×		حمل و نقل مرکب
تیمچ چی و همکاران (۲۰۱۷)			وسیله نقلیه و انبار	×	×	ژنتیک پیوندی و معیار جامع
بالاموروگان و همکاران (۲۰۱۸)						الگوریتم جستجوی محلی
هو و توریلو ^۳ (۲۰۱۸)						شاخه و کران
ماکرینا و گوریرو ^۴ (۲۰۱۸)						الگوریتم جستجوی محلی
ویکاسونو و همکاران (۲۰۱۸)		×	ظرفیت تولید			سلسله مراتبی
هادیان و همکاران (۲۰۱۸)		×	تولید			تعاملی اصلاح شده
ایمران و همکاران (۲۰۱۸)	×			×	×	روش های یادگیری مثل انتقال گذشته.
رشید و همکاران (۲۰۱۹)						زنبر عسل مصنوعی و شبیه سازی تبرید.
کیانی (۲۰۱۹)	×			×		روش جستجوی محلی چند هدفه بهبود یافته.
بوزیانه و همکاران (۲۰۲۰)				×		
بابایی تیرکلایی و همکاران (۲۰۲۰)				×		حل با گمز
معنوی زاده و همکاران (۲۰۲۰)	×					الگوریتم بهینه سازی چند هدفه گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب نوع ۲.
ایمران و همکاران (۲۰۲۰)					×	تعاملی اصلاح شده
پژوهش حاضر	×	×	وسیله نقلیه، انبار و تولید	×	×	NSGAI-FW و شبیه سازی تبرید چند-هدفه.



^۱ Cheng et al.

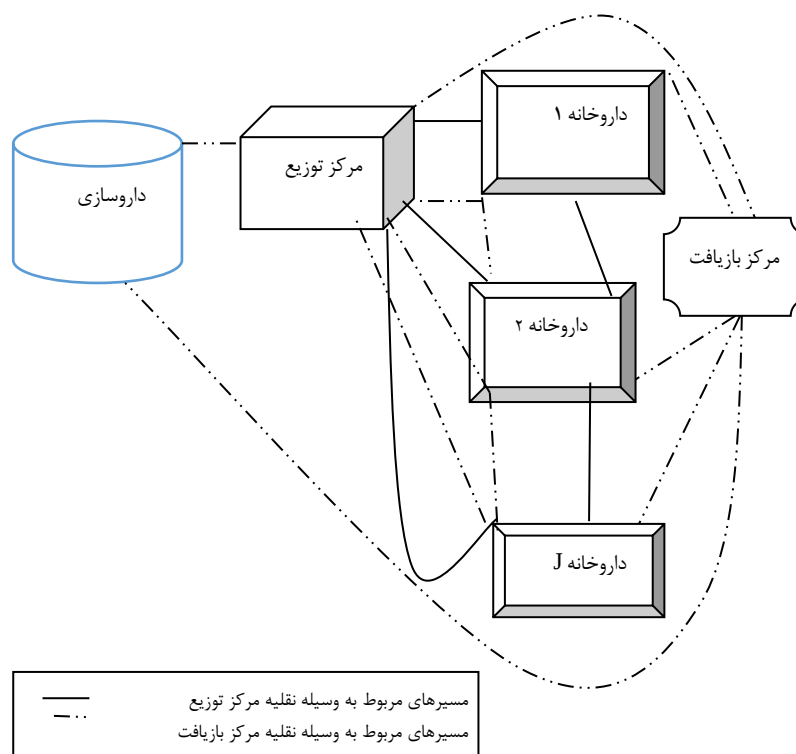
^۲ Feng et al.

^۳ Hu & Toriello

^۴ Macrina & Guerriero

برای یک نوع وسیله نقلیه، ρ و χ ثابت هستند که به ترتیب نرخ مصرف سوخت تخلیه بار، نرخ مصرف سوخت بارگیری و ظرفیت وسیله نقلیه را نشان می‌دهند. چون ضرایب مقدار محصول حمل شده در این معادله ثابت هستند، می‌توان به طور کلی، این ضریب را β در نظر گرفت؛ یعنی: $\beta = \frac{\rho - \rho_0}{\chi}$. پارامتر R_{ij} مسافت بین گره i و گره j است و متغیر Q_{ij} نیز، تعداد یا میزان باری است که از گره i به گره j در دوره t حمل می‌شود (چنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۶).

برای درک بهتر مسئله‌ی لحاظ شده در این مقاله، شکل ۱ ارائه شده است که نشان می‌دهد یک داروسازی، یک مرکز توزیع (با قابلیت افزایش ظرفیت)، تعدادی داروخانه و همچنین یک مرکز بازیافت وجود دارد. وسیله نقلیه داروسازی خود، داروها را به مرکز توزیع منتقل می‌کند. اما وسیله نقلیه مرکز توزیع داروهای یخچالی و غیر یخچالی مورد نیاز را با در نظر گرفتن تخفیف به داروخانه‌ها تحویل می‌دهد. مرکز بازیافت نیز برای خود وسیله نقلیه‌ای دارد که می‌تواند مواد بازیافتی را از کلیه نقاط جمع‌آوری کرده و به مرکز بازیافت منتقل کند.



شکل ۱- زنجیره تأمین موردنظر.

Figure 1- The supply chain.

۳- مدل‌سازی مسئله

در این قسمت به مدل‌سازی مسئله پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که مدل ریاضی این پژوهش بر پایه مدل‌های ریاضی مقالات ایمران و همکاران^۲ (۲۰۱۸)، چنگ و همکاران (۲۰۱۶) و کلانتری و پیشوایی (۲۰۱۶) استوار است. این پژوهش نه تنها در شرایط عادی، بلکه در مواقعی نظیر شیوع بیماری‌های واگیردار، سیل و زلزله می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. چراکه در دنیای واقعی گاهی اوقات به جای خرید محل انبار، اجاره انبار جهت افزایش ظرفیت منطقی‌تر و به صرفه‌تر است. شایان ذکر است که هم‌اکنون نیز مراکز

پخش دارو این کار را در برخی از شهرها انجام می‌دهند. ویژگی‌های منحصربه‌فرد این پژوهش در نظر گرفتن هم‌زمان تخفیف و مسیریابی، بازیافت ضایعات دارویی، ظرفیت مختلف برای سطوح متفاوت، تخفیف مقداری برای جلوگیری از فساد داروها، محاسبه میزان مصرف سوخت برای حداقل کردن هزینه و ... در مدل ریاضی و شرح مسئله این مقاله است.

۱-۳- مفروضات مسئله

مفروضاتی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، به شرح زیر هستند:

- سطح موجودی داروها در آغاز افق برنامه‌ریزی معلوم هستند.
- تمام ارسال‌ها در ابتدای یک دوره زمانی و هزینه‌های کمبود و موجودی برای داروهای مرکز توزیع و داروخانه‌ها در پایان دوره در نظر گرفته می‌شوند.
- تخفیف از نوع مقداری و توسط مرکز توزیع صورت می‌پذیرد.
- حمل داروهای تولیدشده از داروسازی به مرکز توزیع توسط وسایل نقلیه مرکز توزیع صورت نمی‌گیرد.
- مشکلی از نظر تعداد وسایل نقلیه در مراکز توزیع و بازیافت وجود ندارد.
- مرکز بازیافت برای جمع‌آوری ضایعات داروها از مرکز توزیع، داروسازی و داروخانه‌ها وسایل نقلیه همگن خود را می‌فرستد.
- داروسازی، قبل از اینکه تاریخ انقضای دارو بگذرد، آن را تحویل مرکز توزیع می‌دهد.
- مدت زمان بارگذاری و خالی کردن وسایل نقلیه ناچیز است.

۳-۲ مجموعه‌ها و اندیس‌ها

- J مجموعه داروخانه‌ها، $0 = \text{مرکز توزیع}$ $J = \{0, 1, \dots, n\}$ و مجموعه داروخانه‌ها و مرکز توزیع.
- $J' = \{0, 1, \dots, n\}$ مجموعه داروخانه‌ها، مرکز توزیع و مرکز داروسازی.
- $S = J' \cup \{0\}$ مجموعه تمام گره‌های موجود در زنجیره و 0 مرکز بازیافت.
- i, j اندیس‌های مربوط به گره‌ها.
- t اندیس دوره زمانی و τ_p اندیس تعداد داروهای که بر اساس حادثه آسیب می‌بینند و به‌عنوان دارو قابل استفاده به‌عنوان دارو نیستند $\tau_p \in E$.
- $E = \{1, \dots, E_p\}$ مجموعه داروهای p قابل استفاده به‌عنوان دارو و $P = \{0, 1\}$ مجموعه بسته‌های دارویی که 0 یخچالی و 1 غیر یخچالی است.
- p اندیس داروها و 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.

۳-۳ پارامترها

- d_{jpt} تقاضای دارویی نوع p توسط گره j در دوره t .
- R_{0i} مسافت بین مرکز توزیع و داروخانه i در دوره t .
- R_{ij} مسافت بین دو گره i, j (کیلومتر).
- h_{jp} واحد هزینه نگهداری یک بسته دارویی p (واحد پول) برای گره j .
- π_{jp} واحد هزینه کمبود فروش از دست رفته یک بسته دارویی p (واحد پول) برای داروخانه j .
- m_p ظرفیت نگهداری دارویی p مرکز توزیع (تعداد بسته).
- u واحد قیمت هر لیتر سوخت مصرفی وسایل نقلیه.
- a_{τ_p} قیمت واحد فروش تخفیف پیشنهاد شده توسط مرکز توزیع به گره j برای دارویی p در دوره t با τ_p دارویی قابل استفاده به‌عنوان دارو.
- F هزینه ثابت هر وسیله نقلیه در هر سفر.
- ρ_0 نرخ مصرف سوخت در حالت خالی بودن از بار (لیتر بر کیلومتر).
- O_p واحد هزینه اجاره انبار مرکز توزیع برای دارویی p .
- L_{τ_p} حد پایین بازه تخفیف k به گره j برای تعداد بسته دارویی p در دوره t .
- U_{τ_p} حد بالای بازه تخفیف k به گره j برای تعداد بسته دارویی p در دوره t .
- ε_0 مقدار انتشار CO_2 حاصل از وسایل نقلیه مرکز توزیع از انتخاب مسیری بین مرکز توزیع و داروخانه‌ها (کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر لیتر).
- ε_0^j مقدار انتشار CO_2 حاصل از وسایل نقلیه مرکز بازیافت از انتخاب مسیری بین گره‌های زنجیره (کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر لیتر).
- χ ظرفیت وسایل نقلیه مرکز توزیع (تعداد بسته).
- Λ ظرفیت وسیله نقلیه مرکز بازیافت.

– E_p تعداد قابل استفاده بسته داروی p .

– η_t مقدار ضایعات دارو در دوره t .

– M عدد بی نهایت بزرگ.

۴-۳- متغیرهای تصمیم

- $x_{ijtv} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر گره j بلافاصله بعد از گره i در دوره $t \in T$ توسط وسیله نقلیه v مرکز 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 باز یافت ویزیت شود، برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر است.
- $Q_{ijpt\tau_p}$ تعداد بسته داروی حمل شده p از گره i به گره j در دوره t با τ_p دوره زمانی باقیمانده تا پایان عمر داروی p .
- $g_{ijtv'}$ مجموع ضایعات دارو که وسیله نقلیه مرکز باز یافت در دوره $t \in T$ از گره i به گره j توسط وسیله نقلیه v' مرکز باز یافت حمل می کند (تعداد بسته).
- $I_{jpt\tau_p}$ سطح موجودی داروی p در دوره t برای گره j با τ_p دوره زمانی باقیمانده تا پایان عمر دارو.
- B_{jpt} سطح کمبود (موجودی منفی) داروی p در دوره t برای گره j .
- μ_{τ_p} متغیر تعیین حد بالا یا پایین بازه تخفیف با τ_p 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.
- $\zeta_{jtv'}$ اگر گره j در دوره t توسط وسیله نقلیه v' مرکز باز یافت ویزیت شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.
- b_{0pt} میزان کمبود مرکز توزیع برای داروی p در دوره $t \in T$.
- ψ_p متغیر تعداد انبار برای داروی p مرکز توزیع.

۵-۳- مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی ارائه شده در این مقاله بر مبنای مدل های ریاضی چنگ و همکاران (۲۰۱۶)، تیمچچی و همکاران (۲۰۱۷)، وکیلی و همکاران (۱۳۹۶) و هادیان و همکاران (۲۰۱۸) بنا نهاده شده است:

$$\min Z_1 = \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J'} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} F \cdot x_{ijtv} + \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} F \cdot y_{ijtv'} \quad (2)$$

$$+ u \left(\sum_{i \in J'} \sum_{j \in J'} \sum_{\tau_p \in E} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \sum_{p \in P} \beta R_{0i} Q_{0jpt\tau_p} x_{ijtv} \right. \\ + \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \rho_0 R_{ij} y_{ijtv'} + \sum_{i \in J''} \sum_{j \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \beta R_{ij} y_{i0''tv'} g_{i0''tv'} \\ + \sum_{i \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \rho_0 R_{i0''} y_{i0''tv'} + \sum_{i \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \beta R_{i0''} g_{i0''tv'} y_{i0''tv'} \\ \left. + \sum_{i \in J} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \rho_0 R_{0i} x_{0itv} + \sum_{j \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \rho_0 R_{0j} y_{0jtv'} \right) \\ + \sum_{j \in J'} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{\tau_p \in E} h_{jp} I_{jpt\tau_p} + \sum_{j \in J'} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \pi_{jp} B_{jpt} + \sum_{p \in P} O_p \psi_p \\ + \sum_{\tau_p \in E} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} a_{\tau_p} Q_{0jpt\tau_p}.$$

$$\min Z_2 = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{t \in T} \sum_{v' \in V'} \varepsilon_0'' R_{ij} y_{ijtv'} + \sum_{i \in J''} \sum_{j \in J''} \sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \varepsilon_0 R_{ij} x_{ijtv}. \quad (3)$$

$$\sum_{v \in V} \sigma_{itv} = 1; \forall i \in J, t \in T. \quad (4)$$

$$\sum_{v' \in V'} \zeta_{jtv'} = 1; \forall j \in J'', t \in T. \quad (5)$$

$$\sum_{j \in S} y_{ijtv'} = \sum_{j \in S} y_{jiv'}; \forall t \in T, v' \in V', i \in S. \quad (6)$$



$$\sum_{k \in J} x_{ijtv} = \sum_{i \in J} x_{jivt} \quad \forall t \in T, v \in V, j \in J. \quad (۷)$$

$$\sum_{i \in J} x_{0itv} \leq 1 \quad \forall t \in T, v \in V. \quad (۸)$$

$$\sum_{j \in J''} y_{0'jtv'} \leq 1 \quad \forall t \in T, v' \in V'. \quad (۹)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{p \in P} Q_{0jpt\tau_p} \leq \sum_{j \in J} \chi x_{0jtv} \quad \forall t \in T, v \in V, \tau_p \in \{1, \dots, E_p\}. \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i \in J'} \sum_{j \in J} g_{ijtv'} \leq \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J} \lambda y_{ijtv'} \quad \forall t \in T, v' \in V'. \quad (۱۱)$$

$$\sum_{\tau_p \in E} \mu_{\tau_p} = 1. \quad (۱۲)$$

$$g_{0'0tv'} = \eta_{t'}; \forall t \in T, v' \in V'. \quad (۱۳)$$

$$L_{\tau_p} \leq Q_{0jpt\tau_p} + M\mu_{\tau_p}; \forall p \in P, t \in T, j \in J, \tau_p \in E. \quad (۱۴)$$

$$Q_{0jpt\tau_p} \leq U_{\tau_p} + M(1 - \mu_{\tau_p}); \forall p \in P, t \in T, j \in J, \tau_p \in E. \quad (۱۵)$$

$$\sum_{\tau_p=a_p}^{E_p} I_{0pt\tau_p} + \sum_{\tau_p=a_p}^{E_p} Q_{0'0pt\tau_p} + b_{0pt} = \eta_t + \sum_{\tau_p=a_p}^{E_p} \sum_{j \in J} Q_{0jpt\tau_p}; \forall p \in P, t \in T. \quad (۱۶)$$

$$\sum_{\tau_p=a_p}^{E_p} I_{jpt\tau_p} + \sum_{\tau_p=a_p}^{E_p} \sum_{j \in J} Q_{0jpt\tau_p} + \sum_{j \in J} b_{jpt} + \eta_t = \sum_{j \in J} d_{jpt}; \forall p \in P, t \in T. \quad (۱۷)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{\tau_p \in E} Q_{0'0pt\tau_p} \geq \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{\tau_p \in E} Q_{0jpt\tau_p}; \forall j \in J. \quad (۱۸)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{\tau_p \in E} Q_{0'0pt\tau_p} x_{0'0tv'} - \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{\tau_p \in E} Q_{0jpt\tau_p} \leq \psi_p m_p; \forall p \in P, v \in V. \quad (۱۹)$$

$$x_{iitv} = 0, x_{0'jiv} = 0; \forall i \in J', j \in J, t \in T, v \in V. \quad (۲۰)$$

$$g_{0'jtv'} = 0; \forall j \in J', t \in T, v' \in V'. \quad (۲۱)$$

$$y_{iitv'} = 0, y_{0'jiv'} = 0; \forall i \in S, j \in J, t \in T, v' \in V'. \quad (۲۲)$$

$$g_{ijtv} \geq 0, I_{jpt\tau_p} \geq 0, B_{jpt} \geq 0, \eta_t \geq 0, Q_{ijpt\tau_p} \geq 0; \forall i \in S, j \in J, t \in T, v' \in V', v \in V. \quad (۲۳)$$

$$x_{ijtv} \in \{0, 1\}, y_{ijtv'} \in \{0, 1\}, \mu_{\tau_p} \in \{0, 1\}, \sigma_{iiv} \in \{0, 1\}, \gamma_{jiv'} \in \{0, 1\}; \forall i \neq j, i \in S, j \in S, p \in P, t \in T, v \in V, v' \in V. \quad (۲۴)$$

رابطه (۲)، هزینه‌های موجودی، کمبود، مسیریابی 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. لازم به توضیح است که با توجه به اینکه میزان مصرف سوخت (معمولاً وسایل نقلیه مرکز بازیافت نباید برای ضایعات دارویی استفاده شده برای بسیاری از داروهای واگیردار مثل کرونا استفاده شوند؛ به همین دلیل شامل میزان مصرف سوخت کمتری است که این موضوع در **رابطه (۱)** کمتر ملموس می‌باشد)، نوع ماشین‌آلات مورد استفاده، خصوصیات محصول مثل قابل بازیافت بودن یا نبودن یا مثلاً دارو یا ضایعات دارویی و ... در مراکز توزیع و بازیافت متفاوت هستند؛ میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از وسایل نقلیه این دو مرکز با هم فرق می‌کند. **رابطه‌های (۴)** و **(۵)** به ترتیب نشان می‌دهند که گره‌ها دقیقه توسط یک وسیله نقلیه مرکز توزیع و مرکز بازیافت ویزیت شوند. **رابطه‌های (۶)** و **(۷)** به ترتیب 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)** به ترتیب تضمین می‌کنند که وسایل نقلیه مرکز توزیع و بازیافت در هر دوره زمانی حداکثر یک تور تشکیل دهند. **رابطه‌های (۱۰)** و **(۱۱)** به ترتیب 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 z بفروشد، در یک محدوده می‌تواند باشد. رابطه (۱۳) بیان‌کننده مقدار ضایعات موجود در دوره t است. رابطه‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب حد های پایین و بالای تخفیف را برای مقدار دارویی که مرکز توزیع به داروخانه z می‌فروشد، نشان می‌دهند. رابطه‌های (۱۶) و (۱۷) به ترتیب بیان‌گر تعادل موجودی مرکز توزیع و داروخانه‌هاست. 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 موردنیاز این مسئله را نشان می‌دهند.

۴- ارائه الگوریتم پیشنهادی

پیش از آنکه به تجزیه و تحلیل مدل پرداخته شود، لازم به ذکر است که این مدل برای چندین مسئله با ابعاد کوچک توسط روش اپسیلون محدودیت با نرم‌افزار گمز حل شده است و تمام تحلیل حساسیت‌های مختلف روی آن صورت گرفته است که پایه این مسائل داده‌های موجود در مقاله تیمچ چی و همکاران (۲۰۱۷) بوده است. نتایج این محاسبات و تحلیل‌ها، پاسخ‌های منطقی و صحت مدل را تأیید نمودند؛ اما از آنجایی که مدل ریاضی این پژوهش، چند دوره‌ای است، در ابعاد متوسط یا بزرگ این مسئله ناچار به استفاده از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری می‌باشد.

به‌طور کلی مسئله مسیریابی-موجودی چندمحصولی، یک مسئله $NP-hard$ است: چون زیرمجموعه آن که مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است، به این کلاس تعلق دارد (چنگ و همکاران، ۲۰۱۶)؛ بنابراین، برای به دست آوردن راه‌حل‌های با کیفیت زیاد و زمان محاسباتی معقول ضروری است که از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده کنیم. دلیل دوم استفاده از فراابتکاری‌ها این است که مسئله موردنظر حداکثر تا ۴ گره و ۱۱ دوره برنامه‌ریزی با نرم‌افزار گمز توسط روش اپسیلون محدودیت در یک زمان معقول پاسخگو می‌باشد.

به‌طورکلی این مسئله طی دو فاز (فاز کنترل موجودی و فاز مسیریابی) موردبررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه روش فوردریس و بستر یکی از کارآمدترین روش‌های ابتکاری در حل مسائل کنترل موجودی چند دوره‌ای کالاها با قابلیت لحاظ کردن تخفیف است (شیرمحمدی^۱، ۲۰۱۲)، برای فاز کنترل موجودی از روش فوردریس و بستر کمک گرفته شده است. همچنین از الگوریتم $NSGA-II$ که روش بسیار کارایی برای حل مسائل چندهدفه می‌باشد و در مقالات نظیر صالحی سربین و بهنامیان^۲ (۲۰۲۰)، رستگار و همکاران^۳ (۲۰۱۴)، پهلوانی و قادری^۴ (۲۰۱۷)، جمای^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، ربانی و همکاران^۶ (۲۰۱۷) و اکسیو و همکاران^۷ (۲۰۰۸) از الگوریتم $NSGA-II$ برای حل مسئله مسیریابی استفاده کرده‌اند، در فاز مسیریابی این مسئله از این الگوریتم بهره‌گیری شده است.

^۱Shirmohammadi

^۲Salehi Sarbijan & Behnamian

^۳Rastegar

^۴Pahlavani & Ghaderi

^۵Jemai et al.

^۶Rabbani et al.

^۷Xu et al.

الگوریتم *NSGA-II* نسخه جدیدتری از یک الگوریتم ژنتیک است و الگوریتم‌های ژنتیک معمولاً برای مسائل چندهدفه به کار می‌روند. در این پژوهش نیز قرار است که برای یک مسئله چندهدفه مسیریابی-موجودی به کار رود. چون *NSGA-II* روش بسیار کارایی برای مسائل چندهدفه می‌باشد، آن را با روش فوردیس وبستر که یکی از روش‌های ابتکاری مخصوص مسائل موجودی می‌باشد، ترکیب می‌کنیم. نام آن را الگوریتم فوردیس وبستر-ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲ (*NSGAII-FW*) می‌گذاریم. پس در این پژوهش، از الگوریتم *NSGAII-FW* استفاده می‌شود.

مدل‌هایی از موجودی وجود دارد که در آن‌ها برای چند دوره آینده مقادیر مصرف معین می‌باشند، ولی این مقادیر الزاماً مساوی نیستند. در اینجا به ارائه راه حل جدیدی برای الگوریتم حل مسائل برنامه‌ریزی سفارش‌ها دوره‌ای با مصرف معین پرداخته می‌شود. این روش با کاربرد تعدادی جدول (ماتریس) اجرا می‌شود. ستون‌های ماتریس‌ها نشان‌دهنده دوره‌های مصرف و ردیف‌ها نشان‌دهنده دوره‌های تأمین هستند (شیر محمدی، ۲۰۱۲).

نکته جالب توجه در استفاده از روش *F-W* آن است که در شرایط متغیر بودن قیمت واحد کالا در مقابل تغییر زمان و یا در مقابل خرید در مقادیر بیشتر (تخفیف) نیز قابلیت کاربرد دارد. در ابتدا هرکدام از اجزای هزینه موجودی با یک ماتریس جداگانه محاسبه می‌شوند. سپس در یک ماتریس تحت عنوان ماتریس جمع هزینه‌ها تمام اجزای هزینه موجودی با یکدیگر جمع می‌شوند. نهایتاً یک ماتریس به نام ماتریس تجمعی ردیفی محاسبه خواهد شد که بدین شرح حساب می‌شود:

برای تهیه این ماتریس در سمت چپ یک ماتریس خالی ستون جدیدی با عنوان مینی‌م دوره مصرف قبل ایجاد می‌شود. در هر ردیف i در این ستون، مقدار مینی‌م ستون شماره $i-1$ از همین ماتریس یادداشت شده و عدد مربوطه با اعداد ردیف i از ماتریس تجمعی ردیفی جمع شده و در ردیف i ماتریس مینی‌م دوره قبل قرار می‌گیرند (شیر محمدی، ۲۰۱۲).

به ستون آخر ماتریس نهایی مراجعه کرده و عدد مینی‌م آن ستون مشخص می‌شود. از خانه مربوط پاره خط افقی به سمت چپ تا خانه تقاطع ادامه داده می‌شود. مجدداً به ستون قبل از عدد قطر، مراجعه کرده و تا تقاطع با قطر به سمت چپ ادامه داده می‌شود و این کار تا دوره اول ادامه داده می‌شود. برنامه بهینه مربوط به دوره‌ها از این اعداد که از عدد روی قطر تا مینی‌م‌های به دست آمده است، حاصل می‌شود (شیر محمدی، ۲۰۱۲).

همان‌طور که قبلاً گفته شد؛ از آنجاکه *NSGA-II* یک الگوریتم کارآمد در حل مسائل چندهدفه با ابعاد بزرگ شناخته شده است، در این پژوهش سعی می‌شود از ترکیب این الگوریتم با روش فوردیس وبستر که برای حل مسائل موجودی به کار می‌رود، بهره برد. به بیان دیگر برای حل مسئله از یک رویکرد دومرحله‌ای کمک گرفته شده است. در مرحله اول به کمک فوردیس وبستر نتایج حاصل جهت موجودی تعیین می‌گردد و در مرحله دوم به کمک *NSGA-II* مسئله مسیریابی مورد حل قرار می‌گیرد.

مدل پیشنهادی برای اعتبارسنجی و حل در بعد کوچک با روش اپسیلون محدودیت در نرم‌افزار *GAMS* و در بعدها بزرگ‌تر با الگوریتم ترکیبی فوردیس وبستر و *NSGA-II* که آن را *NSGA-II-FW* می‌نامیم، استفاده می‌شود.

۴-۱- نمایش جواب

نحوه نمایش جواب در این تحقیق از سه ساختار تشکیل می‌شود. در بخش موجودی از روش نام فوردیس وبستر استفاده می‌شود که این مستلزم یک ساختار کدبندی ماتریسی برای دوره‌های برنامه‌ریزی تأمین سفارش و خرید مطابق شکل ۲ است.

در بخش فوردیس وبستر؛ ابتدا هرکدام از اجزای هزینه موجودی به صورت ماتریسی جداگانه که سطر و ستون آن به ترتیب شامل دوره های تأمین (سفارش) و خرید می‌باشند، محاسبه می‌شوند. در ماتریسی به نام ماتریس جمع هزینه‌ها، تمام اجزای هزینه موجودی با هم جمع می‌شوند. سپس ماتریس تجمعی ردیفی به دست می‌آید و نهایتاً در ماتریس مینی‌م هزینه دوره قبل که از مینی‌م هزینه دوره

قبل در ماتریس تجمعی ردیفی حاصل می شود، مینیمم ستون دوره آخر را مشخص کرده و آن را به قطر اصلی وصل می کنیم. این کار باید تا به دست آمدن سفارش ها اولین دوره تکرار گردد.

تعداد دوره های خرید

1	...	T
	...	.
		.
		.
		T

تعداد دوره های
تامین سفارش

شکل ۱- نمایش جواب بخش موجودی.

Figure 2- Answer representation of inventory department.

برای قسمت مسیریابی نیز از جایگشتی غیر تکراری از اعداد صحیح برای وسایل نقلیه مرکز توزیع و مرکز بازیافت استفاده می شود که نشان دهنده ی ترتیب گره های ملاقات شده است. شایان ذکر است که گره ابتدایی و انتهایی دقیقاً جاهایی است که وسیله نقلیه برای حرکت از آن ها شروع به کار نموده اند. نمایش جواب بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز توزیع نیز در شکل ۳ نشان داده شده است که ۰ نشان دهنده مرکز توزیع و J تعداد داروخانه های موجود در زنجیره را نشان می دهد.

شکل ۴ نمایش جواب بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز بازیافت را نشان می دهد که 0" نشان گر مرکز بازیافت و J" تعداد گره های موجود در زنجیره را نشان می دهد.

جایگشتی غیر تکراری از اعداد صحیح به تعداد مرکز توزیع و داروخانه ها

0	...	J	0
:			
:			
:			
0	...	J	0

وسایل نقلیه
مرکز توزیع

شکل ۲- نمایش جواب بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز توزیع.

Figure 3- Representation of answer of department of routing homogenous vehicle of center of distribution.

جایگشتی غیر تکراری از اعداد صحیح به تعداد گره های زنجیره به جز مرکز بازیافت

0"	...	J"	0"
:			
:			
:			
0"	...	J"	0"

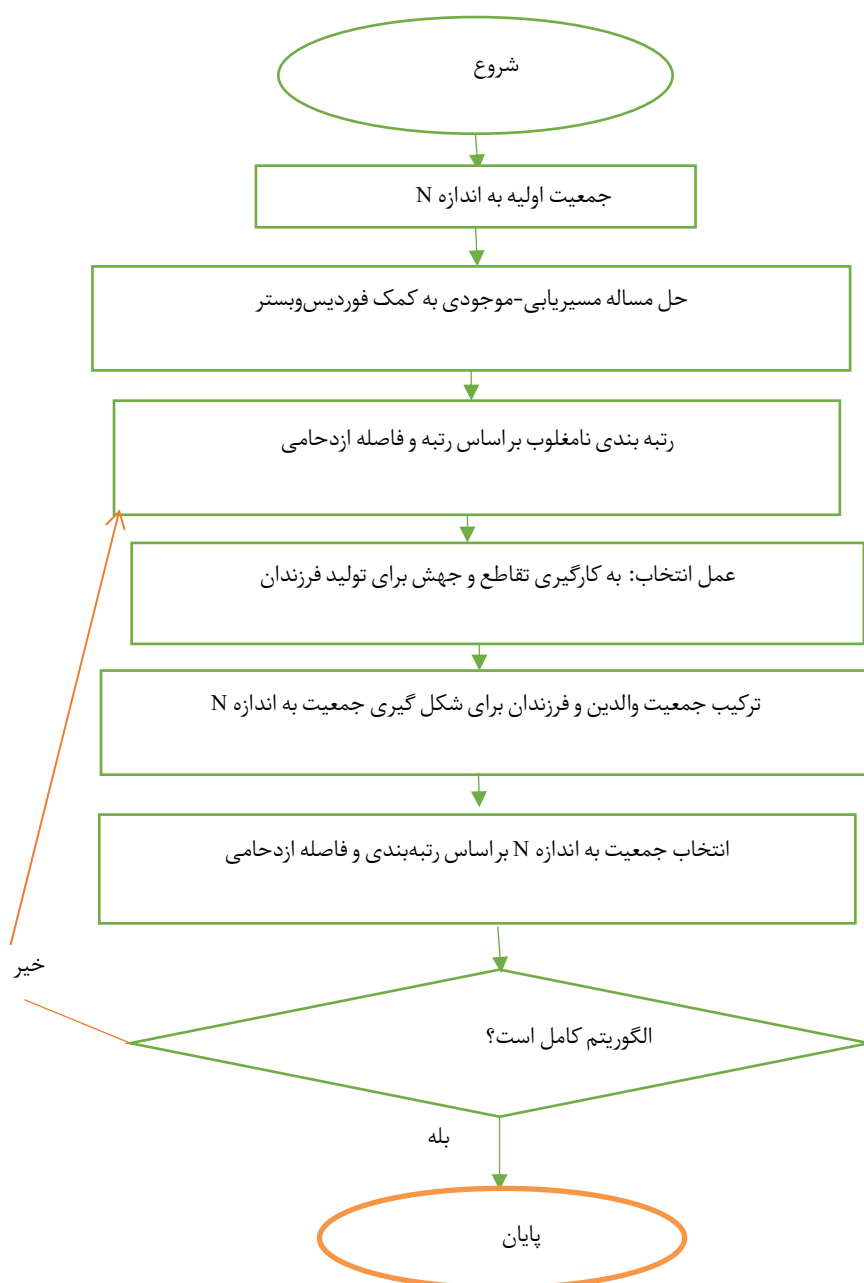
تعداد وسایل
نقلیه مرکز
بازیافت

شکل ۴- نمایش جواب بخش مسیریابی وسایل نقلیه همگن مرکز بازیافت.

Figure 4- Representation of answer of department of routing homogenous vehicle of center of recycling.



فلوچارت الگوریتم *NSGAII-FW* پیشنهادی مطابق شکل ۵ می‌باشد. شرط توقف این الگوریتم رسیدن به تکراری معین است.



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم *NSGAII-FW*.

Figure 5- Flowchart of *NSGAII-FW*.

۵- حل مدل و تجزیه و تحلیل

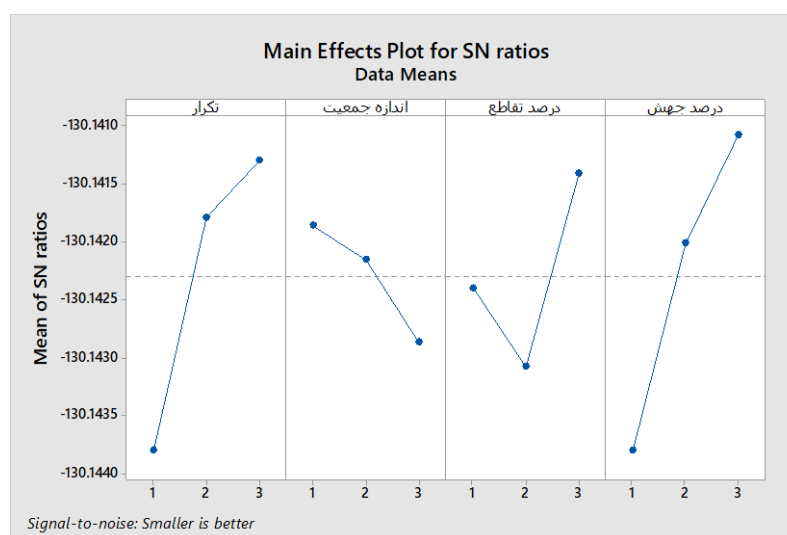
در استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای اینکه آشکار شود که بهترین پارامترهای هر الگوریتم کدام است، از روه‌ای مختلفی نظیر روش تاگوچی می‌توان استفاده نمود که در این مقاله نیز از این روش بهره گرفته شده است. جدول ۱ پارامترها و سطوح پیشنهادی آن‌ها را برای الگوریتم *NSGAII-FW* نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترها و سطوح آن‌ها برای الگوریتم ترکیبی فوردیس و بستر ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲.

Table 2- Parameters and Levels for NSGAII-FW.

فاکتور	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
تکرار	100	150	200
جمعیت	50	100	150
درصد تقاطع	0.6	0.7	0.8
درصد جهش	0.2	0.3	0.4

شکل ۴ نمودار نسبت سیگنال به نویز را برای پارامترهای تعداد تکرار، اندازه جمعیت، درصد تقاطع و درصد جهش الگوریتم NSGAII-FW پیشنهادی نشان می‌دهد. از آنجایی که هدف نمودار نسبت سیگنال به نویز؛ هر چه کوچک‌تر، بهتر است. از این رو، در بین پارامترهای الگوریتم ترکیبی؛ سطح ۱ برای تعداد تکرار و درصد جهش، سطح ۲ برای درصد تقاطع و سطح ۳ برای اندازه جمعیت مناسب است.



شکل ۴- نمودار نسبت سیگنال به نویز برای الگوریتم NSGAII-FW.

Figure 6- Plot of SN ratios for NSGAII-FW.

جهت اعتبارسنجی کار در ابعاد بزرگ از الگوریتم چندهدفه انجماد تدریجی به عنوان الگوریتم رقیب طبق منبع نجفی و سبزواری (۲۰۱۴) استفاده شده است. نتایج حل مسئله در ابعاد مختلف ابعاد کوچک توسط روش بعد اسپیلون محدودیت در نرم افزار GAMS و ابعاد بزرگ توسط الگوریتم ارائه شده NSGAII-FW در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج الگوریتم NSGAI-FW و اپسیلون محدودیت در گمز.

Table 3- Comparison of results of NSGAI-FW and epsilon constraint in GAMS.

ابعاد مسائل	حل مسائل به روش اپسیلون محدودیت در گمز	حل مسائل توسط NSGAI-FW	دوره *داروخانه
هدف اول	هدف دوم	شکاف	زمان اجرا
هدف اول	هدف دوم	هدف اول	هدف دوم
2*3	638077	4068	0
3*3	697353	0.03	2.328
4*3	749279	6232	2.906
5*3	-	-	-
2*4	828020	4940	0.01
3*4	1030468	5925	0.016
4*4	1209350	6975	0.03
5*4	-	-	-
2*5	1707209	4930	0.08
3*5	1965801	5000	0.1
4*5	2507854	7080	0.3
5*5	-	-	-

برای مقایسه دقیق‌تر کارایی دو الگوریتم از شاخص‌های متوسط فاصله از ایده‌آل^۱، شاخص پراکندگی^۲ و شاخص یکنواختی فضا^۳ استفاده می‌شود. نحوه محاسبه این شاخص‌ها مطابق زیر می‌باشند:

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\left(\frac{f_{1i} - f_1^{best}}{f_{10}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2i} - f_2^{best}}{f_{20}}\right)^2}}{n} \quad (25)$$

در رابطه بالا مختصات نقطه ایده‌آل برابر $(f_1^{best}, f_2^{best}) = (0, 0)$ با می‌باشد. هر چه شاخص MID کمتر باشد الگوریتم به دلیل تولید جواب‌هایی با متوسط فاصله کمتر از نقطه ایده‌آل، اولویت بالاتری دارد (نجفی و سبزواری، ۲۰۱۴).
شاخص پراکندگی، وسعت جواب‌های پارتوی یک الگوریتم را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگتر این معیار بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها می‌باشد؛ یعنی هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، الگوریتم اولویت بالاتری دارد. نحوه محاسبه این شاخص به صورت رابطه (۲۶) ارائه شده است (نجفی و سبزواری، ۲۰۱۴).

$$DM = \sqrt{\left(\frac{\max f_{1i} - \min f_{1i}}{f_{10}}\right)^2 + \left(\frac{\max f_{2i} - \min f_{2i}}{f_{20}}\right)^2} \quad (26)$$

^۱Mean Ideal Distance (MID)

^۲Diversity Metric (DM)

^۳Spacing Metric (SM)

در رابطه‌های (۲۵) و (۲۶) برای بی‌مقیاس‌سازی اهداف، آن‌ها بر اولین مقادیر هر کدام از اهداف اول و دوم یعنی f_{10} و f_{20} تقسیم می‌شود. نهایتاً شاخص یکنواختی فضا، مجموعه نقاط نامغلوب را در فضای حل اندازه‌گیری می‌کند. هر چه شاخص SM کمتر باشد، الگوریتم مناسب‌تر است. نحوه محاسبه این شاخص به‌صورت رابطه (۲۷) ارائه شده است.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |\bar{d} - d_i|}{(n-1)\bar{d}} \quad (27)$$

که در آن n تعداد جواب‌های پارتو و d_i فاصله اقلیدسی بین دو جواب پارتوی کناری در فضای حل می‌باشد. همچنین $\bar{d}$ نیز برابر میانگین فواصل d_i ها می‌باشد. مقادیر کم این معیار بیانگر توزیع یکنواخت‌تر جواب در پارتوی شناسایی شده می‌باشد. این مقایسه‌ها را برای الگوریتم پیشنهادی و رقیب با استفاده از شاخص‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۴ - نتایج اجرا توسط شاخص‌ها برای الگوریتم‌ها.

Table 4- Results by indexes for algorithms.

مثال	سایز	DM		MID		SM	
		MOSA	NSGAI-FW	MOSA	NSGAI-FW	MOSA	NSGAI-FW
1	2 داروخانه و 3 دوره	0.46	0.88	45.1	30.72	0.005	0.0043
2	20 داروخانه و 12 دوره	816.7	1018.66	0.85	0.2	0.005	0.003
3	12 داروخانه و 12 دوره	801.3	1019.3	0.74	0.31	0.006	0.003
4	3 داروخانه و 3 دوره	46.5	30.2	1	1.13	0.002	0.007
5	5 داروخانه و 3 دوره	54.1	31	0.31	0.36	0.003	0.005
6	4 داروخانه و 3 دوره	50.05	31	0.35	0.31	0.003	0.004
7	4 داروخانه و 4 دوره	66.64	38	0.39	0.76	0.001	0.007
8	2 داروخانه و 4 دوره	64.3	30	0.13	0.2	0.001	0.007
9	25 داروخانه و 12 دوره	233.87	53.36	0.71	25.75	0.007	0.07
10	25 داروخانه و 6 دوره	1050.25	1490.8	1.07	258.9	0.6	1.13

برای اطمینان از جواب‌های به‌دست‌آمده ابتدا آزمون نرمال بودن در جدول ۵ توسط نرم‌افزار مینی‌تب انجام شده است و سپس در نتایج آزمون نرمال بودن همه شاخص‌ها برای مقادیر p -value مقداری بیشتر از ۰/۰۵ که سطح معناداری را نشان می‌دهد، گرفته‌اند. در نتیجه همگی نرمال‌اند. پس می‌توان نتایج آزمون t را اجرا کرد. در جدول ۶ نیز در صورتی که مقادیر برای p -value بیشتر از ۰/۰۵ باشد، جواب‌های به‌دست‌آمده معنی‌دار و در غیر این صورت فرض H_0 رد می‌شود. در تمام موارد، دلیلی بر رد کردن فرض H_0 دیده نمی‌شود. پس نتیجه می‌گیریم در الگوریتم $NSGAI-FW$ طبق تمام شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش، این الگوریتم کاراتر از $MOSA$ است. نتایج آزمون نرمال بودن همه شاخص‌ها برای مقادیر p -value مقداری بیشتر از ۰/۰۵ که سطح معناداری را نشان می‌دهد، گرفته‌اند. در نتیجه همگی نرمال‌اند. پس می‌توان نتایج آزمون t را اجرا کرد.

در جدول ۶ نیز در صورتی که مقادیر برای p -value بیشتر از ۰/۰۵ باشد، جواب‌های به‌دست‌آمده معنی‌دار و در غیر این صورت فرض H_0 رد می‌شود. در تمام موارد، دلیلی بر رد کردن فرض H_0 دیده نمی‌شود. پس نتیجه می‌گیریم در الگوریتم $NSGAI-FW$ طبق تمام شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش، این الگوریتم کاراتر از $MOSA$ است.



جدول ۵- آزمون نرمال بودن.

Table 5- Test of normality.

شاخص	p-value	نتیجه
شاخص DM	0.591	نرمال
شاخص MID	0.2	نرمال
شاخص SM	0.354	نرمال

جدول ۶- نتایج آزمون.

Table 6- Results of test.

نتیجه H ₀	p-value	آزمون t	فرض H ₀
رد نمی شود.	2.29	0.35	شاخص SM در NSGAII-FW کمتر از MOSA است.
رد نمی شود.	1.11	0.159	شاخص MID در NSGAII-FW کمتر از MOSA است.
رد نمی شود.	1.1	0.857	شاخص DM در NSGAII-FW بیشتر از MOSA است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادهای آتی

در این پژوهش یک زنجیره تأمین داروی حلقه بسته، با یک داروسازی، یک مرکز توزیع، تعدادی داروخانه و یک مرکز بازیافت با دو هدف حداقل کردن هزینه های کل مسیریابی-موجودی و حداقل کردن میزان انتشار آلاینده های محیطی ناشی از حمل و نقل است مدنظر قرار گرفت.

در مسئله مورد بررسی، علاوه بر امکان استفاده از تخفیف برای داروهای یخچالی و غیریخچالی، مرکز توزیع می تواند با اجاره کردن انبارهای بیشتر ظرفیت خود را افزایش دهد. درحالی که در تحقیقات کمی سطوح مختلف ظرفیت مورد مطالعه قرار گرفته است.

به علاوه از آنجاکه مرکز بازیافت و همچنین مرکز توزیع وسایل نقلیه مختص خود را دارا هستند، مسیریابی های آنها به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است و میزان انتشار گاز دی اکسید کربن هر وسیله نقلیه با توجه به میزان باری که در هر مسیر حمل می کند و میزان سوختی که مصرف می نماید، محاسبه گردیده است.

نقاط قوت این تحقیق در نظر گرفتن هم زمان دو نوع مسیریابی با توجه به حداقل کردن میزان انتشار، تخفیف برای جلوگیری از فساد داروها و لحاظ کردن دو جنبه مهم در زنجیره تأمین سبز یعنی مسئله بازیافت و حداقل شدن میزان آلاینده ها می باشد.

این مسئله در ابعاد مختلف توسط روش اپسیلون محدودیت در نرم افزار GAMS حل گردید. نتایج نشان داد که تا ابعاد مشخصی مسئله قابلیت حل به این روش را داشت و با افزایش بعد مسئله نیاز به الگوریتم های فراابتکاری احساس می شد. بدین منظور یک الگوریتم هیبریدی ابتکاری بر مبنای روش فوردیس و وبستر و همچنین NSGA-II ارائه گردید که تحت عنوان NSGAII-FW نام گذاری شد و قادر بود مسائل با ابعاد مختلف را به سادگی حل نماید. برای سنجش کیفیت این الگوریتم پیشنهادی، از الگوریتم MOSA استفاده شد و علاوه بر کیفیت پاسخ ها و زمان حل، از سایر شاخص های ارزیابی الگوریتم های فراابتکاری نظیر MID، DM و یکنواختی فضا کمک گرفته شد. برای نشان دادن نتایج از آزمون های فرض مختلف با سطح اطمینان ۹۵٪ بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی، الگوریتمی کارا در حل این دسته از مسائل می باشد.



مبحث بازیافت- مسیریابی- موجودی پویای چندهدفه برای داروهای مختلف با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط اضطراری همچون بحران‌های زلزله، سیل و ... که نیاز به دارو افزایش پیدا می-کند، می‌تواند با تغییر هرکدام از مفروضات موجود در این مسئله زمینه‌ساز مطالعات آینده محققین شود.

این پژوهش نه تنها در شرایط عادی برای مراکز پخش دارو می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد بلکه در مواقعی که نیاز به انواع دارو به هر دلیلی نظیر وقوع بحران‌های سیل و زلزله و بیماری‌های همه‌گیر مثل آنفلوآنزا و کرونا افزایش می‌یابد نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

محورهای متعددی جهت تحقیقات آتی قابل پیشنهاد می‌باشند که بعضی از مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر می‌باشند:

- جهت تحقیقات می‌توان علاوه بر تخفیف‌های مقداری از تخفیف‌های زمانی نیز استفاده نمود.
- حداکثر کردن رضایت مشتریان و استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌تواند در راستای کار مقالات در این زمینه انجام گیرد.
- در بحث بازیافت می‌توان به نوع ضایعات دارویی در مطالعات بیشتر توجه کرد. گاهی ضایعات دارویی به دلیل اینکه برای یک بیماری مسری استفاده شده‌اند، نمی‌تواند در روند بازیافت استفاده شود و حتماً باید این ضایعات دفن یا سوزانده شوند.
- در زمینه دارو می‌توان زمان‌بندی را مطرح کرد. مدیریت زمان می‌تواند شامل تحویل به موقع دارو، حداقل کردن دیرکردها و ... باشد.
- مطالعات در زمینه دارو می‌تواند شامل اهدافی باشند که از جنس کیفی باشند و با روش‌های مختلفی همچون روش‌های چندمعیاره و ... این مسائل قابل حل باشند؛ مثلاً حداقل کردن تعداد شکایات کیفی از عوارض جانبی داروها و سیاست‌های مدیریت بحران بیماری‌های مسری مثل کرونا، مسائل کیفی تحت‌الشعاع بیماری‌های واگیردار مثل کیفیت آموزش و ...
- در بحث مسیریابی- موجودی داروها می‌توان به موارد بسیاری اشاره کرد که موجب در نظر گرفتن پویایی چند هدف متعارض می‌شود؛ مثلاً با توجه به افزایش یک نوع بیماری تقاضا برای بعضی داروها در حال افزایش و برای برخی دیگر در حال کاهش باشد. این وابسته به نوع بیماری (مسری بودن یا نبودن) و ضرر هرکدام از بیماری‌ها دارد.
- در بحث مطالعات آتی برای بیماری-های مسری می‌توان به مطالعات مکان‌یابی بیمارستان‌های سیار، مسیریابی-موجودی آمبولانس‌ها یا داروهای موردنیاز و زمان‌بندی بیماران کرونایی با در نظر گرفتن اینکه حال بیمار رو به بهبود است یا خیر، حداقل کردن تعداد فوتی‌های ناشی از این بیماری، حداکثر کردن تعداد بهبودی‌های حاصل و ... توجه کرد.
- در بحث مطالعات آینده برای مسائل تحت‌الشعاع بیماری کرونا می‌توان به مطالعات مختلفی مثل حداقل کردن افزایش قیمت‌ها، نظریه بازی، حداقل کردن تعارض‌های سیاست‌های جدید، حداقل کردن زیان‌های ناشی از فساد کالا‌های فاسدشدنی مثل محصولات کشاورزی، مدیریت واردات و صادرات مناسب کالا‌های اساسی و ... اشاره کرد.
- مطالعات مشابه می‌توانند در زمینه‌هایی مثل برنامه‌ریزی تولید مواد ضدعفونی‌کننده، تخصیص منابع، نظریه بازی در مورد مسیریابی-مکان‌یابی کالا‌های موردنیاز برای افراد سالم و بیمار، تعیین تکنولوژی برای تشخیص بیماری، سیاست‌های مالی و سرمایه‌گذاری در زمینه مدیریت بحران کرونا، سیاست‌های استخدامی پرستاران، برنامه‌ریزی مواد غذایی و ... باشند.
- مسئله مسیریابی وسیله نقلیه؛ طراحی مسیرهای کم‌هزینه از انبار به مجموعه نقاط پراکنده جغرافیایی مانند شهرها، فروشگاه‌ها، انبارها، مشتریان و غیره است. کاربردهای دنیای واقعی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه در مسائل لجستیک مثل مسیریابی اتوبوس مدارس و حمل کالاها هستند.

مشارکت نویسندگان

مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مهندس سمیرا کیانی تحت راهنمایی خانم دکتر پروانه سمونی به عمل آمده است.

تعارض با منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد.



- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.019>
- Babaei Tirkolaee, E., Hadian, S., Weber, G., & Mahdavi, I. (2020). A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational intelligence*, 36, 80-101. <https://doi.org/10.1111/coin.12240>
- Balamurugan, T., karunamoorthy, L., Arunkumar, N., & Santhosh, D. (2018). Optimization of inventory routing problem to minimize carbon dioxide emission. *International journal of simulation modelling*, 17(1), 42-54. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)410](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)410)
- Bouziyane, B., Dkhissi, B., & Cherkaoui, M. (2020). Multiobjective optimization in delivering pharmaceutical products with disrupted vehicle routing problem. *International journal of industrial engineering computations*, 11, 299-300. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2019.7.003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.001>
- Fatemi Qomi, S., M. T. Arabzadeh, A., & Karimi, B. (2016). A multi period routing and scheduling optimization model for home health. *Quarterly journal of industrial management studies*, 16 (48), 1-30. (In Persian). Retrieved from https://jims.atu.ac.ir/article_8364.html?lang=en
- Feng, Y., Zhang, R., & Jia, G. (2017). Vehicle routing problems with fuel consumption and stochastic travel speeds. *Mathematical problems in engineering*, 6329203, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2017/6329203>
- Hadian, H., Eshraghniae 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. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.7.003>
- Haghverdi, M. (2013). *Model development and solving the routing problem of perishable goods and transportation with time windows and simultaneous receipt and harvesting* (Master thesis, Bu-Ali Sina University). (In Persian). Retrieved from <https://www.virascience.com/thesis/657009/>
- Hu, W., & Toriello, A. (2018). Integrated inventory-routing and freight consolidation for perishable goods. *European journal of operational research*, 271(2), 548-560. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.034>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.10.006>
- Imran, M., Salman Habib, M., Hussain, A., Ahmed, N., & Al-Ahmari, A. (2020). Inventory routing problem in supply chain of perishable products under cost uncertainty. *Mathematics*, 8, 382, 1-29. <https://doi.org/10.3390/math8030382>
- Jafarnejad, A., & amoozad Mahdirji, H. (2016). *Supply chain design and control (quantitative approach)*. Tehran Publications, Mehraban Publishing Institute. (In Persian). Retrieved from <https://www.adinehbook.com/gp/product/6005823424>
- Jemai, J., Zekri, M., & Mellouli, K. (2012). An NSGA-II algorithm for the green vehicle routing problem. In *European conference on evolutionary computation in combinatorial optimization* (pp. 37-48). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29124-1_4
- Kalantari, M., & Pishvaei, M. (2016). a robust possibilistic programming approach to drug supply chain master planning. *Journal of industrial engineering research in production systems*, 7, 49-67. (In Persian). <https://doi.org/10.22084/ier.2016.1568>
- Kiani, S. (2019). *Multi-objective routing-inventory of pharmaceutical items with consideration of discount in the green supply chain*. (Master thesis, Bu-Ali Sina University). (In Persian). Retrieved from <http://ie.eng.basu.ac.ir/NewsDetail.aspx?newsid=19321>
- Macrina, G., & Guerriero, F. (2018). The green vehicle routing problem with occasional drivers. *International conference on optimization and decision science* (pp. 10-13). Taormina. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6_38
- Manavizadeh, N., Shaabani, M., & Aghamohammadi-Bosjin, S. (2020). Designing a green location routing inventory problem considering transportation risks and time window: a case study. *Journal of industrial and systems engineering*, 4, 27-56. Retrieved from http://www.jise.ir/article_96020.html
- Najafi, A., & Fazeli Sabzevar, E. (2014). A bi-objective portfolio rebalancing model for index tracking problem under transaction costs and solving it using meta-heuristic. *Financial knowledge of securities analysis*, 7(24), 79-95. (In Persian). Retrieved from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=416547>
- Pahlavani, P., & Ghaderi, F. (2017). Multimodal multi-objective route planning using non-dominated sorting genetic algorithm-II and TOPSIS method. *Engineering journal of geospatial information technology*, 4 (4), 123-142. (In Persian). Retrieved from <http://jgit.kntu.ac.ir>
- Rabbani, M., Farrokhi-Asl, H., & Asgarian, B. (2017). Solving a bi-objective location routing problem by a NSGA-II combined with clustering approach: application in waste collection problem. *Journal of industrial engineering international*, 13(1), 13-27. <https://doi.org/10.1007/s40092-016-0172-8>
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2016). Sustainable inventory routing problem for perishable products by considering reverse logistic. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 949-954. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.898>
- Rashid, T. A., Hassan, M. K., Mohammadi, M., & Fraser, K. (2019). Improvement of variant adaptable LSTM trained with metaheuristic algorithms for healthcare analysis. In *advanced classification techniques for healthcare analysis* (pp. 111-131). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7796-6.ch006>



- Rastegar, A., Mansoorian, A., Talei, M., Yari, D., & Beheshtifar, S. (2014). Power transmission line routing using NSGA-II algorithm. *Iranian journal of remote sensing & GIS*, 6(4), 55-69. **(In Persian)**. <https://www.magiran.com/paper/1581747/?lang=en>
- Salehi Sarbijan, M., & Behnamian, J. (2020). Modeling and solving of bi-objective multi-product production routing problem with outsourcing and accident risk in transportation. *Modern research in decision making*, 5(2), 137-163. **(In Persian)**. Retrieved from http://journal.saim.ir/article_40547.html?lang=en
- Shafeian, Sh., & Etebari, F. (2015). Supplier selection in a multi-cycle routing-existence problem with a green approach. *8th international conference of operations research, ferdowsi university of Mashhad* (pp. 118- 120). **(In Persian)**. Retrieved from <https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=31720>
- Shirmohammadi, A. (2012). *Principles of planning and control of production and inventories*. Pillars of Knowledge. **(In Persian)**. Retrieved from <https://www.adinehbook.com/gp/product/9642591200>
- Sousa, R., Shah, N., & Papageorgiou, L. (2011). Global supply chain network optimization for Pharmaceuticals. *European symposium on computer aided process engineering*, 20, 1189-1194. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(05\)80040-9](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(05)80040-9)
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2015). Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International journal of production economics*, 164, 118-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.008>
- Susarla, N., & Karimi, I. A. (2012). Integrated supply chain planning for multinational Pharmaceutical enterprises. *Computers and chemical engineering*, 42, 168-177. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.03.002>
- Timajchi, A., Seyed M.J.M, Rekik, Y. (2019). Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment option. *International journal of production economics*, 209, 302-315. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.018>
- Vakili, P., Hosseini-Motlagh, S., Gholamian, M., & Jokar, A. (2017). A developed model and heuristic algorithm for inventory routing problem in a cold chain with pharmaceutical products. *Industrial management journal*, 9(2), 383-40. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.22059/imj.2017.127742.1006884>
- Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E., & Izzatunnisa, L. (2018). Mixed integer linear programming model for dynamic supplier selection problem considering discounts. *Matec web of conferences*, 154, 01071. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401071>
- Xu, H., Fan, W., Wei, T., & Yu, L. (2008). An Or-opt NSGA-II algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows. *2008 IEEE international conference on automation science and engineering* (pp. 309-314). Arlington, VA, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/COASE.2008.4626505>
- Yahyazadeh, K. (2009). *Solving the routing problem of vehicles for perishable goods according to multiple criteria in prioritization of distribution considering time range*. (Master thesis, Bu-Ali Sina University). **(In Persian)**. Retrieved from <https://www.virascience.com/thesis/488937/>



Licensee Decisions & Operations Research. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).