

Supply Chain Network Design Using Inventory Control Coordination Strategies Under Uncertainty Using Meta-Initiative Approach

Masoud Amiri, Alireza Hamidieh*

*Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

(Received: 21/12/2022; Accepted: 041/07/2023)

Abstract

The design of the integrated supply chain network plays a vital role in improving the operational efficiency of the company. In this regard, it is essential to integrate strategic issues such as location and transportation management with inventory management strategies in the design of the supply chain network. In the current research, the mathematical model of the three-level supply chain network, including supplier, warehouse, and retailer, has been developed by adopting two coordinated and non-coordinated inventory control strategies. The dynamic adaptive control approach is presented to deal with the uncertainty of the economic order quantity. The study's primary focus is examining the integrity or non-integrity of the inventory of supply chain echelons and its effect on the inventory allocation and the reliability levels of network storage points to guarantee a high level of service. A genetic meta-heuristic algorithm has been used to optimize the problem with an ample search space and provides reasonable solutions and reasonable improvement opportunities. The calculation results show that the amount of inventory and the costs of the entire supply chain network show a significant reduction using the coordinated inventory control strategy.

Keywords: Inventory Control, Uncertainty, Network Design, Supply Chain, Coordination, Metaheuristic, Network Analysis Process

*Corresponding Author E-mail: hamidieh@pnu.ac.ir

طراحی شبکه زنجیره تامین با راهبردهای هماهنگی کنترل موجودی تحت عدم قطعیت با به کارگیری رویکرد فرا ابتکاری

مسعود امیری^۱، علیرضا حمیدیه^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران ۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳)

چکیده

طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه نقش مهمی در بهبود کارایی عملیاتی شرکت ایفا می‌نماید در این راستا، ادغام مسائل راهبردی چون مکان یابی و مدیریت حمل و نقل با راهبردهای مدیریت موجودی در طراحی شبکه زنجیره تامین حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر مدل ریاضی شبکه زنجیره تامین سه سطحی شامل تامین کننده، انبار و خرده فروش با اتخاذ دو راهبرد کنترل موجودی هماهنگ و غیر هماهنگ توسعه یافته است. برای مقابله با عدم قطعیت مقدار سفارش اقتصادی رویکرد کنترل انطباقی پویا ارائه شده است. تمرکز اصلی مطالعه بر روی بررسی یکپارچگی یا عدم یکپارچگی موجودی رده های مختلف زنجیره تامین و اثر آن بر روی تخصیص موجودی و سطوح اطمینان نقاط ذخیره سازی شبکه است بطوریکه سطح خدمت با درجه بالا را تضمین نماید. از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای بهینه سازی مساله با فضای جستجوی بزرگ استفاده شده است و راه حل های معقول و فرصت های بهبود منطقی ارائه می کند. نتایج محاسباتی نشان می دهد میزان موجودی و هزینه های کل شبکه زنجیره تامین با بکارگیری راهبرد کنترل هماهنگ موجودی کاهش قابل توجهی دارد.

واژه های کلیدی: کنترل موجودی، عدم قطعیت، طراحی شبکه، زنجیره تامین، هماهنگی، فرا ابتکاری

۱- مقدمه

اعمال کنترل هماهنگ موجودی اغلب منجر به افزایش سطح خدمت در رده پایین دستی زنجیره تامین نسبت به رده بالایی می شود از این رو موجودی شبکه را بدون تخریب خدمات به مشتری نهایی کاهش داده و هزینه های کمتری به شبکه تحمیل می کند [۶].

از طرف دیگر عدم یکپارچه سازی موجودی بین رده های مختلف زنجیره تامین [۷]، تضاد اهداف در شبکه را تشدید کرده و مزیت رقابتی زنجیره تامین کاهش می یابد، از این رو وجود مکانیزمی برای یکپارچه سازی مدیریت موجودی در سراسر شبکه زنجیره تامین به عنوان سامانه متشکل از سازمان ها، افراد، فعالیت ها، اطلاعات و منابع حائز اهمیت است [۸]. تمرکز کنترل موجودی در پژوهش حاضر تخصیص ذخیره اطمینان است از این رو مقادیر سفارش در هر انبار و خرده فروش بر اساس رابطه کلیدی مقدار اقتصادی سفارش تعیین می شود [۹]. جهت طراحی زنجیره تامین دو راهبرد کنترل موجودی غیر هماهنگ (NCIC) و کنترل موجودی هماهنگ^۲ (CIC) مورد بررسی قرار می گیرد و با مقایسه نتایج حاصل از این دو راهبرد، خروجی کارآمد و بهینه مشخص می شود.

امروزه منبع یابی جهانی و انتخاب تامین کنندگان در سازمان ها به عنوان ضرورتی حیاتی سبب گردیده است که فرایندهای عملیاتی زنجیره تامین آنها بطور پویا تغییر کند [۱] و برای کسب مزیت رقابتی در مسیر ارتقای سطح خدمت و پاسخگویی گام بردارند از طرف دیگر چرخه های عمر کوتاه محصولات و تغییرات بازار سبب گردیده است که شرکت ها شبکه توزیع خود را بازبینی و طراحی مجدد نمایند [۲]. در این راستا مساله اصلی مبادلات بین سطوح خدمات، هزینه های حمل و نقل و موجودی رده های توزیع است که سبب شده موضوعات کنترل موجودی در تصمیمات طراحی شبکه زنجیره تامین مانند مکانیابی و تعیین ظرفیت تسهیلات مورد توجه قرار گیرد. موجودی شبکه زنجیره تامین شامل مواد خام، کالای در حال پردازش و محصولات نهایی است که بخشی از دارایی شرکت محسوب می شود افزایش نرخ موجودی سبب افزایش فضای انبار، هزینه های ذخیره سازی و قیمت تمام شده محصول خواهد شد از طرف دیگر کمبود آن کاهش سطح خدمت، تولید و سود فروش را به دنبال دارد [۳]. بر اساس الگوی استاندارد مدیریت زنجیره تامین [۴]، هدف کلی ارائه خدمت بهینه به مشتری با کمترین هزینه است از این رو سطح خدمت به مشتری نهایی یک شاخص عملکرد کلیدی در کارآمدی زنجیره تامین است [۵].

* رایانامه نویسنده مسئول: v.hamidieh@pnu.ac.ir

¹ Non - Coordinated Inventory Control

² Coordinated Inventory Control



- بررسی اثر اقتصادی پیاده سازی راهبردهای کنترل موجودی هماهنگ و غیر هماهنگ در بنگاه ها و شبکه‌های زنجیره تامین.
 - بکارگیری رویکرد کنترل انطباقی برای مواجهه با عدم قطعیت سفارش مراکز تقاضا.
 - اتخاذ سیاست بازبینی مداوم موجودی با در نظر گرفتن نرخ پرسازی به عنوان شاخص کارایی عملکرد زنجیره تامین.
- در ادامه، مقاله حاضر بصورت زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم ادبیات پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم مدل طراحی شبکه زنجیره تامین با تمرکز بر کنترل هماهنگ موجودی ارائه می‌شود. در بخش چهارم رویکرد مواجهه با عدم قطعیت مساله پیاده سازی شده است. در بخش پنجم روش حل بر مبنای الگوریتم ژنتیک تبیین می‌شود. در بخش ششم تحلیل حساسیت مساله مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت در بخش هفتم نتیجه‌گیری مساله ارائه می‌گردد.

۲- مرور ادبیات

ادبیات مربوط به طراحی شبکه زنجیره تامین با کنترل هماهنگ موجودی گسترده بوده و در سال‌های اخیر نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. مقاله فراهانی و همکاران^۳ (۲۰۱۵) زمینه موضوعی نزدیکی با پژوهش پیش رو دارد که ادغام تصمیمات طراحی زنجیره تامین استراتژیک با تصمیمات مدیریت موجودی تاکتیکی و عملیاتی را بررسی کردند [۱۶]. به‌طور کلی مقالاتی که استقرار موجودی در طراحی شبکه زنجیره تامین را بررسی می‌کنند بر اساس دو عامل تقاضا (قطعی یا تصادفی) و روش حل به چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. در گروه اول ادغام موجودی از چندین مکان به یک مکان واحد (بصورت موجودی یک سطحی) با تقاضایی از نوع تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. فلیشمن^۴ (۲۰۱۶) این روند را در کالاهای مصرفی پیاده‌سازی نمود که منجر به متمرکز کردن موجودی در یک رده واحد متشکل از چند انبار موازی و حتی یک مرکز توزیع واحد برای سیستم توزیع در سرتاسر اروپا گردید [۱۷].

همچنین شهابی و همکاران^۵ (۲۰۱۳) مدل ریاضی برای هماهنگ کردن کنترل موجودی شبکه زنجیره تامین چهار سطحی متشکل از تامین کننده، انبار، مرکز و خرده‌فروشی توسعه می‌دهند که با ادغام موجودی از چندین انبار و هدایت محموله های بزرگتر به خرده‌فروشی به کاهش هزینه حمل و نقل کمک می‌کند [۱۸]. در گروه دوم موجودی را بیش از یک سطح در نظر

از آنجا که تمرکز اصلی پژوهش حاضر بر ارزیابی کنترل موجودی در شبکه زنجیره تامین است لذا کنترل موجودی با نرخ پر شدن در شبکه در نظر گرفته می‌شود. مقادیر موجودی را با بکارگیری از یک مدل قطعی بررسی کرده و سپس با استفاده از یک مدل تقاضای تصادفی [۱۰]، نقاط سفارش مجدد به دست می‌آید. لازم به ذکر است بکارگیری مدل قطعی مقدار اقتصادی سفارش، در یک محیط تصادفی منجر به افزایش هزینه‌های موجودی خواهد شد [۱۱]. ساختار مطالعه حاضر با رویکردهای زیر توسعه می‌یابد، در ابتدا موجودی را با در نظر گرفتن نقاط سفارش مجدد بررسی می‌کنیم سپس با هدف مینیمم‌سازی هزینه کل [۱۲]، سطح خدمت با درجه بالا به مشتری نهایی را در نظر می‌گیریم شبکه متشکل از چندین انبار و خرده‌فروش است که همگی سیستم سفارش دهی مرور پیوسته (R, nQ) جهت تعیین مقدار بهینه سفارش (Q) و مقدار بهینه نقطه سفارش (R) را بکار می‌گیرند.

اتخاذ رویکرد یکپارچه در حل همزمان مسائل مکانیابی، حمل و نقل و موجودی بکارگیری الگوریتم ژنتیک^۲ به عنوان الگوریتم فراابتکاری کارآمد را اجتناب ناپذیر می‌کند که برای حل مشکلات بهینه‌سازی با فضاهای بزرگ جستجو بکار می‌رود [۱۳]. در این الگوریتم، اطلاعات گذشته با توجه به موروثی بودن الگوریتم استخراج شده و در روند جستجو استفاده می‌شود [۱۴]. یکی از مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های جستجو، عدم توقف در نقاط بهینه محلی است. از این رو با استفاده از روش جستجوی تصادفی جهت‌دار (ژنتیک) تلاش می‌شود تا یک راه‌حل تقریباً بهینه یافت شود [۱۵].

در پژوهش حاضر فرض می‌شود که خرده‌فروش فقط از یک انبار اقلام مورد نیاز را تهیه می‌کند و تمام انبارها توسط یک کارخانه تامین می‌شوند که دارای ظرفیت نامحدود است. بدین معنی که انبارها و خرده‌فروشان از سیاست سفارش‌دهی پیوسته برای کنترل موجودی خود استفاده می‌کنند. همچنین محاسبات بر اساس عدم قطعیت تقاضا انجام می‌شود در این راستا با کنترل عدم قطعیت می‌توانیم زنجیره تامین منعطف که پاسخگوی شرایط پر خطر بازار است را طراحی کنیم. با توجه به آنچه که ذکر گردید وجه تمایز مقاله حاضر در چارچوب نوآوری‌های زیر ارائه می‌شود.

- یکپارچه‌سازی تصمیمات مکانیابی، حمل و نقل و موجودی
- تضمین سطح خدمت موجودی در پایین‌دست زنجیره تامین (مشتری نهایی) با کاهش سطح موجودی در بالادست.

³ Farahani et al

⁴ Fleischmann

⁵ Shahabi et al

¹ Reorder Point and Order Quantity

² Genetic Algorithm

در رده پایین و انبارها در رده بالا نادیده گرفته شده است و همچنین تعیین ذخیره اطمینان را به صورت دوسطحی در نظر نمی گیرند [۲۵]. پوگا و همکاران^۸ (۲۰۱۹) مساله طراحی زنجیره تامین را با تخصیص ذخیره اطمینان در حالت دوسطحی ادغام نمودند با این حال تخصیص ذخیره اطمینان در مقاله آنها مبتنی بر رویکرد خدمات تضمین شده است [۲۶]. کاینگ ژائو و چانگویی لی و همکاران (۲۰۲۰) مدل طراحی زنجیره تامین با موجودی چند سطحی پیشنهاد دادند که رویکرد بهینه سازی ازدحام ذرات چندمرحله ای جدید را دنبال کردند و از روش های چند دسته ای و راهبردهای جستجو دومرحله ای استفاده نمودند [۲۷]. لذا مدل مقاله حاضر از دو جهت با پژوهش های دیگر متفاوت است، اولین تفاوت بکارگیری نرخ پر شدن به عنوان معیار خدمات است دوم، با تمرکز بر روی مساله طراحی زنجیره تامین دوسطحی، سطوح موجودی هدف با استفاده از خط مشی های نقطه سفارش مجدد کنترل می شوند. در واقع، نرخ پر شدن به عنوان معیار اندازه گیری عملکرد بوده و همه مکان های موجود با استفاده از نقاط سفارش مجدد هماهنگ کنترل می شوند. کامرونو همکاران^۹ (۲۰۲۱) نظریه ادغام فرایند های موجودی در طراحی زنجیره تامین و در فاز طراحی محصول را با رویکرد بهینه سازی هزینه های تمام شده محصول نهائی مورد بررسی قرار دادند [۲۸]. لویو مگا و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۲) مدل شبکه زنجیره تامین محصولات در اندونزی را طراحی کرده و هدف یکپارچگی بین تأمین کنندگان و توزیع کنندگان را دنبال نمودند. کارماکار و همکاران^{۱۱} نیز بهینه سازی شبکه زنجیره تامین با استفاده از روش های فرا ابتکاری را تحلیل و بررسی نمودند [۲۹]. توماس و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۲) تأثیر نوآوری تأمین کننده بر یکپارچه سازی زنجیره تامین را برآورد کرده و ارتباط مستقیم آن بر عملکرد پایدار زنجیره تامین را مورد بررسی قرار دادند [۳۰].

تفاوت مطالعات مشابه ذکر شده با مطالعه حاضر، بررسی نرخ پر شدن بین خرده فروشان و انبارها است که رویکرد فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک به عنوان رویکرد بهینه سازی کارا مورد استفاده قرار گرفته است.

اکنون، برای تبیین شکاف تحقیقاتی موجود در ادبیات و رویکرد نوین مدل توسعه یافته، طبقه بندی دقیق تری از ادبیات تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است.

می گیرند ولی عدم قطعیت تقاضا در خرده فروشان نادیده گرفته می شود و مقالات این گروه بر توسعه رویکرد راه حل های کارآمدی تمرکز دارد که می توانند مشکل طراحی شبکه را در مدت زمان معقولی حل کنند و همانند موضوع مقاله پیش رو، آنها هزینه موجودی و هزینه حمل و نقل را در نظر می گیرند ولی هزینه نگهداری ذخیره اطمینان در مقالات این گروه مورد بررسی قرار نگرفته است. دیابات و همکاران^۱ (۲۰۱۷) یک مسئله موجودی چند سطحی با در نظر گرفتن خرده فروشانی که با تقاضای مستقیم مشتریان نهایی روبه رو هستند را ارائه دادند که تصمیمات مکانیابی، تخصیص سفارش و موجودی را به صورت همزمان انجام می دهد. این مدل با توزیع یک کالا از یک تولیدکننده واحد به مجموعه ای از خرده فروشان سروکار دارد [۱۹]. تاکساکیس و پاداپولو^۲ (۲۰۱۶) در مدل طراحی زنجیره تامین پیشنهادی موجودی را بیش از یک سطح در نظر گرفته و عدم قطعیت تقاضا در خرده فروشان را نادیده می گیرند و مساله طراحی شبکه را با توجه به هزینه موجودی و هزینه حمل و نقل و بدون در نظر گرفتن هزینه نگهداری ذخیره اطمینان بررسی کردند [۲۰]. مقالات در گروه سوم یک سیستم موجودی چندلایه با عدم قطعیت تقاضا را در نظر می گیرند که تمرکز این مقالات بر روی توسعه روش های تقریبی برای سطح ذخیره اطمینان در شبکه است. کانگ و کیم^۳ (۲۰۱۲) مساله طراحی زنجیره تامین با موجودی دوسطحی را در نظر گرفتند که در آن تقاضا برای هر کدام وجود دارد و خرده فروش از توزیع نرمال پیروی می کند [۲۱]. مناتکار و همکاران^۴ (۲۰۱۶) مسئله برنامه ریزی مکانیابی - توزیع چند محصولی را با ملاحظات موجودی هم در انبار و هم در خرده فروشان ارائه می دهند [۲۲].

تساو و همکاران^۵ (۲۰۱۲) مدل زنجیره تامین سه سطحی ارائه کردند که تقاضا در هر خرده فروشی از توزیع پواسون پیروی می کرد [۲۳]. پژوهش های کمی در گروه چهارم وجود دارد که موجودی چند سطحی با تقاضای تصادفی را مورد بررسی قرار دادند. ژانگ کیو و همکاران^۶ (۲۰۱۷) چارچوبی برای مسئله طراحی زنجیره تامین دوسطحی ارائه دادند که شامل هزینه های موجودی متفاوت است و مقادیر سفارش در سطوح مختلف به طور مستقل تعیین می شود [۲۴]. در واقع آنها مدل قطعی رانندی^۷ (۲۰۱۸) را با ترکیب تقاضای تصادفی توسعه دادند و تفاوت بین مقاله پیش رو و آنها در این است که وابستگی بین خرده فروشان

¹ Diabat et al

² Taxakis, K

³ Kang, J.-H., Kim

⁴ Manatkar et al

⁵ Tsao et al

⁶ Jang et al

⁷ Randy

⁸ Puga et al

⁹ Cameron et al

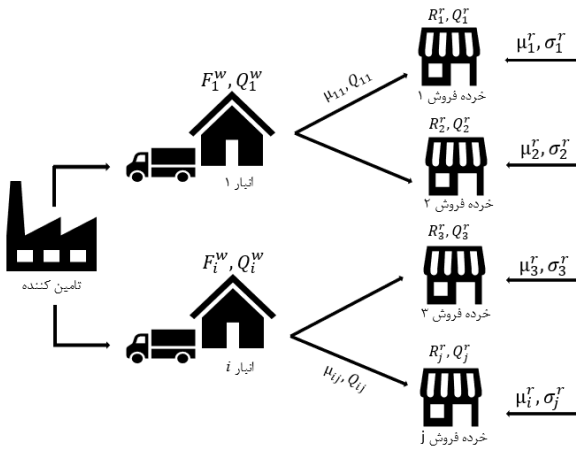
¹⁰ Lomega et al

¹¹ Karmakar et al

¹² Tomas et al

جدول (۱). خلاصه مرور ادبیات

شماره مرجع	عنوان مقاله	سطوح	مکان موجودی	تقاضا	سطح خدمت	روش حل	نوع موجودی	
							CIC	NCIC
۲۳	Tsao et al. (2012)	۳	WH + RT	توزیع پواسون	CSL	تقریب تابع پیوسته	✓	
۸	Keskin et al. (2012)	۳	WH + RT	قطعی	-	شبیه سازی تبرید		✓
۲۱	Kang et al. (2012)	۳	Plant + WH + RT	قطعی	-	روش ابتکاری		✓
۱۲	Silva and Gao (2012)	۲	WH	قطعی	-	روش جستجوی تطبیقی تصادفی حریص		✓
۱۸	Shahabi et al. (2013)	۴	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۱۵	Berling et al. (2014)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۱۶	Farahani et al. (2014)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۲۲	Manatkar et al. (2015)	۲	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	بهینه سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک	✓	
۲۰	Taxakis and Papadopoulos (2016)	۵	Plant + RT	قطعی	-	الگوریتم ژنتیک		✓
۱۷	Fleischmann (2016)	۱	RT	توزیع نرمال و گاما	نرخ پر	الگوریتم ژنتیک (تأمین کنندگان متعدد)	✓	
۲	Zhang et al. (2016)	۳	WH + RT	قطعی	-	روش ابتکاری		✓
۶	Wari and W. Zhu (2016)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۴	Stentoft et al. (2016)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	بهینه سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک	✓	
۱۹	Diabat et al. (2017)	۳	WH	توزیع پواسون	-	روش جستجوی مستقیم	✓	
۲۴	Y. Chen et al. (2017)	۳	WH	توزیع پواسون	-	الگوریتم ژنتیک		✓
۲۵	Randy et al. (2018)							
۲۶	Puga et al. (2019)	۲	WH + RT	توزیع نرمال	زمان خدمت	برنامه نویسی خطی مختلط - صحیح		✓
۱۱	S.-K. Fan et al. (2019)	۳	WH + RT	قطعی	-	روش فرا ابتکاری		✓
۲۷	Q. Zhao and C. Li (2020)	۳	WH + RT	قطعی	-	روش فرا ابتکاری		✓
۲۸	Cameron MacKenzie (2021)	۳	WH + RT	قطعی	-	روش ابتکاری		✓
۱۰	Rarità et al. (2021)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۳	Teunter et al. (2022)	۳	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه		✓
۱۵	Berling et al. (2022)	۲	WH	قطعی	-	الگوریتم ژنتیک (چند محصوله)		✓
۳۰	T. F. Espino (2022)	۳	WH + RT	قطعی	-	روش فرا ابتکاری		✓
۱	Wissuwa et al. (2022)	۲	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	الگوریتم ژنتیک محصولات چندگانه	✓	
۲۹	Lomega et al. (2022)	۲	WH + RT	توزیع نرمال	CSL	بهینه سازی ازدحام ذرات،	✓	
	مطالعه حاضر	۳	WH + RT	عدم قطعیت	نرخ پر	الگوریتم ژنتیک با نرخ پر شدن در حالت عدم قطعیت	✓	✓
WH : Warehouse RT : Retailer CSL: cycle service level								



شکل (۱). شبکه زنجیره تامین مورد بررسی

بررسی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که همه مراحل زنجیره تامین سطوح خدمات موجودی یکسان و نسبتاً بالایی را حفظ می‌نمایند از این رو، هزینه‌های نگهداری موجودی و کلی زنجیره تامین بطور فزاینده‌ای رشد می‌کند در صورتیکه شرکت‌ها سطوح بالای خدمات موجودی را برای فروشگاه‌ها، انبارها و مراکز توزیع به‌عنوان برتری در عملکرد گزارش می‌کنند. از طرف دیگر عدم اطمینان سفارشات بازار و فقدان تشخیص الگوی دوره‌ای موجودی در سطوح زنجیره تامین بار مالی هزینه‌های موجودی را افزایش می‌دهد. بر این اساس تحقیق حاضر با تمرکز بر روی ارتقا سطح موجودی در پایین دست، هزینه‌های موجودی در بالادست را کاهش می‌دهد همچنین با بکارگیری رویکرد کنترل انطباقی در مواجهه با عدم قطعیت سفارشات، الگوی رفتار موجودی در دوره‌های زمانی را تبیین کرده و بر مبنای سطح موجودی و سطح مورد نیاز ذخیره اطمینان، ظرفیت تولید را تعیین می‌کند.

۳-۱-۱-۳ مدل ریاضی مساله: (راهبرد اول)

۳-۱-۱-۳-۱ شاخص‌ها و مجموعه‌ها

0 : تامین کنندگان

n_w : حداکثر تعداد مکان احتمالی انبار w

مکان‌های احتمالی انبار: $I = \{1, \dots, n_w\}$

n_r : تعداد خرده‌فروشان

خرده‌فروشان: $J = \{1, \dots, n_r\}$

۳-۱-۲-۲ پارامترها

O_i : هزینه سفارش در انبار i

O_j : هزینه سفارش در خرده‌فروشی j

S_i : هزینه ذخیره ناشی از هر واحد کالا در انبار i

S_j : هزینه ذخیره ناشی از هر واحد کالا در خرده‌فروش j

Cap_i : ظرفیت انبار i

T_{0i} : هزینه حمل‌ونقل ثابت در هر تحویل از تامین‌کننده O به

انبار i

T_{ij} : هزینه حمل‌ونقل ثابت از انبار i به خرده‌فروش j

V_{0i} : هزینه متغیر حمل‌ونقل برای هر واحد ارسال شده از

تامین‌کننده O به انبار i

V_{ij} : هزینه متغیر حمل‌ونقل برای هر واحد ارسال شده از انبار i

به خرده‌فروش j

M_i : هزینه نگهداری هر واحد در انبار i

M_j : هزینه نگهداری هر واحد در خرده‌فروش j

Z_{0i} : زمان حمل‌ونقل از تامین‌کننده O به انبار i

Z_{ij} : زمان حمل‌ونقل از انبار i به خرده‌فروش j

IL_i : تعداد واحدهای موجود در انبار i

IL_j : تعداد واحدهای موجود در خرده‌فروش j

۳- شرح مسئله

مساله مورد مطالعه یک شبکه زنجیره تامین تک‌محصولی شامل تامین‌کننده (کارخانه)، انبارها و خرده‌فروشان متعدد است (شکل ۱). تقاضا در هر خرده‌فروش به‌طورمعمول با میانگین و واریانس مشخص توزیع می‌شود. خرده‌فروشان توسط انبارها تامین شده و هر انبار ظرفیت محدودی دارد. فرض می‌کنیم که منبع تک‌فروشی را برای خرده‌فروشان انجام می‌دهد، به‌عنوان مثال، اقلام یک خرده‌فروش فقط از یک انبار در شبکه تهیه می‌شود. تمام انبارها توسط یک کارخانه تامین می‌شوند که دارای ظرفیت نامحدودی است. تمام نقاط ذخیره‌سازی، یعنی انبارها و خرده‌فروشان از سیاست‌های مرور پیوسته (nQ, R) برای کنترل موجودی استفاده می‌کنند.

تقاضا در هر انبار بر اساس الگوریتم خدمت به ترتیب ورود (FCFS)^۲ برآورده می‌شود.

مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تصمیمات زیر است:

الف) کدام انبارها باید در دسترس قرار گیرند؟

ب) کدام خرده‌فروشان باید از هر انبار اقلام خود را تهیه نمایند؟

ج) مقادیر نرخ پر شدن و سطح اطمینان ناشی از سیاست کنترل موجودی توسط هر نقطه ذخیره چقدر است؟

از آنجاکه هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی تأثیر اجرای کنترل هماهنگ موجودی در طراحی شبکه زنجیره تامین است، دو راهبرد اصلی کنترل موجودی (کنترل هماهنگ و غیر هماهنگ) بر اساس شکل (۱) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

¹ Reorder point and order Quantity

² First-Come-First-Served

حمل و نقل و موجودی است. مجموعه اول شامل هزینه های ثابت و متغیر برای ایجاد و بهره‌برداری انبارها و همچنین هزینه‌های ثابت و متغیر حمل و نقل از تامین کننده به انبارها و از انبارها به خرده‌فروشان است. هزینه‌های حمل و نقل ثابت تحت تأثیر تعداد تحویل است که به میانگین تقاضا و مقادیر سفارش بستگی دارد. مجموعه دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده هزینه‌های موجودی انبارها و خرده‌فروشان است که شامل هزینه‌های سفارش و نگهداری است. در رابطه (۲) هزینه کمبود موجودی در انبار محاسبه گردیده و نرخ متوسط هزینه کمبود موجودی در انبار i در رابطه (۳) ارائه شده است.

رابطه (۴) نشان‌دهنده نرخ پر شدن در تمام خرده‌فروشان است که باید راضی باشند. p یک احتمال بر اساس نرخ پر شدن در خرده‌فروش می‌باشد.

$$U_j = 1 - p(IL_j \leq 0) \geq U_j^{min} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

رابطه (۵) نشانگر تقاضای متوسط هر خرده‌فروش است که فقط با یک انبار برآورده می‌شود

$$\sum_{i=1}^{n_w} Y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad D_{ij} = D_j Y_{ij} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

رابطه (۶) تقاضای متوسط تأمین‌شده توسط هر انبار را نشان می‌دهد

$$D_i = \sum_{j=1}^{n_r} D_{ij} \quad \forall i \in I \quad (6)$$

تقاضای متوسط تأمین‌شده توسط هر انبار با مجموعه محدودیت ظرفیت انبار محدود می‌شود که در رابطه (۷) نشان داده شده است.

$$D_i \leq X_i Cap_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

متغیرهای تصمیم باینری مربوط به باز یا عدم باز شدن یک انبار است در رابطه (۸).

$$X_i \text{ binary} \quad A_i \in I \quad (8)$$

اطمینان حاصل می‌کند که میانگین جریان واحد از یک انبار به یک خرده‌فروش و نقاط سفارش مجدد غیر منفی است و مقدار سفارش نیز مثبت است طبق رابطه (۹).

$$\mu_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J; Q_i > 0; R_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (9)$$

به متغیر تصمیم باینری^۱ مربوط می‌شود که آیا خرده‌فروش j توسط انبار i تأمین می‌شود طبق رابطه (۱۰)

$$Y_{ij} \text{ binary} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

مقادیر سفارش در هر انبار و هر خرده‌فروش بر اساس رابطه مقدار سفارش اقتصادی^۱ تعیین می‌شود طبق رابطه (۱۱) که در ذیل آمده است.

D_{DiLi} : تقاضای زمان انتظار در انبار i

σ_{DiLi} : انحراف معیار تقاضا در واحد زمان در انبار i

σ_{DjLj} : انحراف معیار تقاضای در خرده‌فروش j

D_{DjLj} : تقاضای زمان انتظار در خرده‌فروش j

K_i : هزینه ثابت به ازای واحد زمان افتتاح انبار i

R_i : هزینه متغیر برای هر واحد انبار عملیاتی i

D_j : تقاضا مورد انتظار در واحد زمان در خرده‌فروش j

σ_j : انحراف معیار تقاضا در واحد زمان در خرده‌فروش j

۳-۱-۳- متغیرهای تصمیم‌گیری

Q_i^w : مقدار سفارش مجدد در انبار i

Q_j^r : مقدار سفارش مجدد در خرده‌فروش j

F_i^w : تغییر مکان در انبار i

N_j^r : سفارش مجدد نقطه در خرده‌فروشی j (خرده‌فروش r)

D_i^w : تقاضای مورد انتظار در واحد زمان در انبار i

D_{ij} : تقاضای مورد انتظار در واحد زمان در خرده‌فروش j

تهیه‌شده توسط انبار i

H_i^w : سطح موجودی کالا در انبار i

H_j^r : سطح موجودی کالا در خرده‌فروش j

X_i : ۱ اگر انبار باز شود؛ صفر در غیر این صورت.

Y_{ij} : ۱ اگر خرده‌فروش j توسط انبار i تأمین شود؛ صفر در غیر این صورت.

U_i : نرخ پر شدن در انبار i

U_j : نرخ پر شدن در خرده‌فروش j

U_j^{min} : حداقل نرخ پر شدن در خرده‌فروش j

۳-۱-۴- تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\begin{aligned} \text{Min TC} = & \sum_{i=1}^{n_w} (X_i K_i + R_i D_i + (T_{0i} + \\ & R_i Q_i) \frac{D_i}{Q_i} + \sum_{j=1}^{n_r} (T_{ij} + V_{ij} Q_j) Y_{ij} \frac{D_j}{Q_j}) \\ & + \sum_{i=0}^{n_w} (O_j \frac{D_i}{Q_i} + M_i U_i Z_i) \\ & + \sum_{j=1}^{n_r} (O_j \frac{D_j}{Q_j} + M_j U_j Z_j) \\ & + TS \end{aligned} \quad (1)$$

$$TS = \sum_{i=1}^{n_w} \left(\pi_i \frac{D_i}{Q_i} b r_i \right); i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$b = \int_r^{\infty} (X - Fr_j) f(x) dx; i = 1, \dots, n \quad (3)$$

متوسط کمبود در یک سال: b هزینه کمبود سالیانه: TS

رابطه شماره (۱) تابع هدف مساله است که میانگین کل هزینه‌ها در واحد زمان را تعیین می‌کند. شامل هزینه‌های کل مکانیابی،

^۱ Binary

۴- تصمیم گیری تحت عدم اطمینان

برای کنار آمدن با عدم اطمینان مقدار سفارش، رویکرد کنترل انطباقی پیشنهاد شده است. در این رویکرد، سیاست جدیدی برای بهبود عملکرد سیستم کنترل موجودی ایجاد شده است. آزمایش های شبیه سازی برای نشان دادن مزیت این سیاست انجام می شود. رابطه (۱۷) مقدار θ_n در سه حالت را نشان داده است که مقدار آن حداکثر برابر θ_{max} خواهد بود.

$$\theta_n = \begin{cases} \theta_{max} & \text{if } \theta_n^c > \theta_{max} \\ \theta_n^c & \text{if } 0 \leq \theta_n^c \leq \theta_{max} \\ 0 & \text{if } \theta_n^c < 0 \end{cases} \quad (17)$$

در آغاز $t = nT_0$ از هر فاصله زمانی برنامه ریزی شده $(n = 0, 1, 2, \dots)$ و $[t_n, t_{n+1}]$ با داشتن مدت زمان یکسان $T_0 = t_{n+1} - t_n$ سیستم تصمیم گیری درخواست مربوط به سطح موجودی محصول $H(t)$ برابر با $H(t_n) = H_n$ را ارسال می کند.

$$e_n = r^0 - H_n \quad (18)$$

بر مبنای سطح مورد نیاز ذخیره اطمینان، r^0 تعیین شده و سپس سفارش می شود، θ_n تعریف حجم محصول برای تولید در فاصله زمانی برنامه ریزی $t_n \leq t \leq t_{n+1}$ طبق رابطه (۱۸) است،

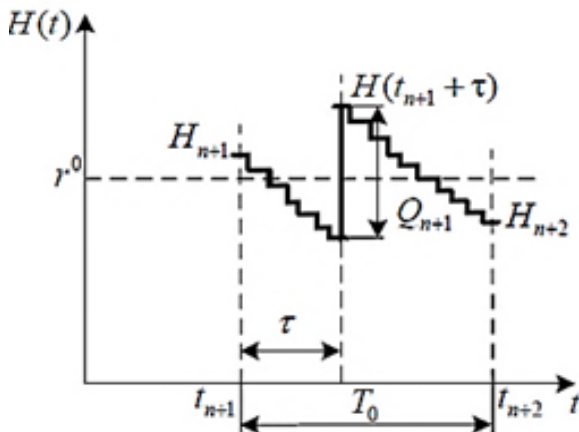
θ_{max} نشان دهنده حداکثر اندازه سفارش ممکن است و بر اساس رابطه (۱۹) مقدار θ_n^c محاسبه می گردد.

θ_n^c بر اساس سیاست سفارش تعیین شده تعریف می گردد

$$\theta_n^c = e_n \quad (\text{in units}) \quad (19)$$

بر این اساس، ظرفیت تولید q_n برای تولید مقدار سفارش در رابطه (۲۰) تعیین می شود.

$$q_n = q(\theta_n) \quad (20)$$



شکل (۲). دوره موجودی در فواصل زمانی

$$Q_j = \sqrt{\frac{2(O_j + T_{ij})D_j}{M_j}} \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{2(O_i + T_{0i})D_i}{M_i}} \quad \forall i \in I$$

در رابطه (۱۲) بازه زمانی برنامه ریزی شده بین $[t_n, t_{n+1}]$ قرار دارد، سیستم تصمیم گیری درخواست بر اساس سطح موجودی فعلی نیز $H(t)$ می باشد. r^0 سطح ذخیره اطمینان و طبق رابطه ذیل مقدار e_n (سطح موجودی قابل استفاده) بر اساس r^0 و H_n محاسبه می گردد.

$$e_n = r^0 - H_n \quad (12)$$

$$e_n = r^0 - H_n \quad t \in [t_n + t_{n+1}]$$

جایی که θ_{max} نشان دهنده حداکثر اندازه سفارش ممکن است. طبق رابطه (۱۳) مقدار سفارش در حالت عدم اطمینان تعریف می شود و محاسبه مقدار θ_n در رابطه (۱۷) توضیح داده شده است.

$$q_n = q(\theta_n) \quad (13)$$

۳-۱-۵- راهبرد دوم

طراحی شبکه زنجیره تامین با کنترل موجودی غیر هماهنگ رابطه های (۱) تا (۱۳) راهبرد اول در این راهبرد نیز معتبر است. تفاوت اصلی این است که علاوه بر محدودیت نرخ پر شدن در خرده فروشان، در هر یک از انبارها نیز محدودیت نرخ پر کردن وجود دارد.

در طراحی زنجیره تامین با کنترل موجودی غیر هماهنگ نرخ پر شدن هدف در انبارها همانند نرخ پر شدن در خرده فروشان تنظیم می شود. تمام نقاط مرتب سازی مجدداً و بصورت مستقیم از این نرخ پر شدن هدف تعیین می شود مطابق با رابطه (۱۴).

$$U_i = 1 - p(IL_i \leq 0) \geq U_i^{wmin} \quad \forall i \in I \quad (14)$$

بر اساس توضیحات مربوط در روابط (۱۵) و (۱۶) مربوط به نرخ پر شدن در طراحی شبکه زنجیره تامین با کنترل موجودی غیر هماهنگ و مربوط به انبار و خرده فروشان می باشد که بصورت یکسان در نظر گرفته شده است.

$$R_j = \min \left\{ \begin{array}{l} R_j : (1 - p(IL_j \leq 0)) \\ \geq U_j^{wmin} \end{array} \right\} \quad \forall j \in J \quad (15)$$

$$R_i = \min \left\{ \begin{array}{l} R_i : (1 - p(IL_i \leq 0)) \\ \geq U_i^{wmin} \end{array} \right\} \quad \forall i \in I \quad (16)$$

فضای جواب پراکنده می‌باشند) در فضای جواب مسئله آغاز می‌شود و جستجوی کارآمد در الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. در مرحله بعد، تمامی جواب‌های اولیه تولیدشده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا مقدار تابع هدف هر کدام از آن‌ها مشخص شود. لازم به ذکر است علاوه بر مقدار سطح سفارش پشتیبان مورد انتظار، هزینه‌های نگهداری موجودی در مجموع هزینه‌ها برآورد می‌گردد. از این‌رو، تمام مقایسات بر اساس تابع هزینه کل انجام می‌شود که ارزش‌هایی چون میانگین موجودی، حمل‌ونقل، کاهش هزینه انبار و همچنین میانگین تعداد انبارها برای راهبردهای کنترل موجودی هماهنگ و کنترل موجودی غیر هماهنگ را در برمی‌گیرد. در روند اجرایی الگوریتم ژنتیک اولویت‌های V برای انبارها و خرده‌فروشان به صورت تصادفی ایجاد می‌شود، که در آن V یک مقدار صحیح منحصر بفرد از ۱ تا $n_w + n_r$ است. پارامترها و متغیرهای الگوریتم ژنتیک در جدول (۲) ارائه شده است:

جدول (۲). پارامترهای الگوریتم ژنتیک

N	میزان جمعیت
n	شاخص برای کروموزوم‌ها $n = 1, \dots, N$
G	تعداد کل نسل‌ها
g	شاخص برای نسل‌ها $g = 1, \dots, G$
$CrossRate$	نرخ تقاطع
$MutRate$	نرخ جهش
FV	مقادیر مناسب
Z_{best}	بهترین ساختار شبکه تا کنون
$TC(Z)$	مقدار تابع هدف هنگام استفاده از ساختار شبکه Z
TC_{best}	بهترین (کمترین) مقدار تابع هدف تا کنون
$TC_{highest}$	بالاترین مقدار تابع هدف در هر نسل

مراحل اجرایی الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

مرحله ۱: نسل اولیه را انتخاب می‌کنیم که از N کروموزوم تشکیل شده است: $Z^{(1)}, \dots, Z^{(N)}$

از رمزگذاری مبتنی بر اولویت دهی برای تولید کروموزوم N استفاده می‌شود. هر کروموزوم یک راه‌حل مساله محسوب می‌شود.

مرحله ۲: برای هر کروموزوم، تابع هدف $TC(Z^{(n)})$ محاسبه می‌گردد.

بر اساس ساختار شبکه، نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش در هر انبار و خرده‌فروش تعیین می‌شود $N_1^w, N_1^r, Q_1^w, Q_1^r$. هزینه‌های نگهداری موجودی در انبارها و خرده‌فروشان محاسبه شده و سپس هزینه کل شبکه بدست می‌آید.

در شکل (۲) رفتار دوره‌ای موجودی در فاصله زمانی $[t_{n+1}, t_{n+2}]$ ترسیم شده است و فرض بر این است که در لحظه t_{n+1} ارسال موجودی آغاز می‌شود و سطح موجودی طبق نمودار کاهش می‌یابد تا زمانی که به اندازه Q_{n+1} به موجودی افزوده شود و باعث افزایش سطح موجودی با نرخ $k(t)$ گردد و بر این اساس تقاضای درخواست شده در بازه زمانی $t_{n+1} < t < t_{n+2}$ به مقدار $Q_{n+1, n+2}$ است. سطح موجودی $H(t)$ در فاصله زمانی بین t_{n+1} و T_0 به مقدار Q_{n+1} افزایش می‌یابد و این روند به همین صورت ادامه دارد.

۵- روش حل بر مبنای الگوریتم ژنتیک

با استفاده از الگوریتم ژنتیک تلاش می‌کنیم با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده یک راه‌حل بهینه برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه با ساختار NP-Hard پیدا کنیم، در واقع الگوریتم چندین کروموزوم را در هر نسل ارزیابی کرده و در آن یک کروموزوم (Z) به‌عنوان نامزد راه‌حل ممکن شبکه انتخاب می‌شود که مطابق با مجموعه‌ای از مقادیر اولویت‌دهی شده است. پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، معمولاً با تولید جمعیتی از کروموزوم‌ها (جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک، معمولاً تصادفی تولید می‌شود و مقید به حد بالا و پایین متغیرهای مسئله هستند) آغاز می‌شود. در مرحله بعد، ساختارهای داده‌ای تولیدشده (کروموزوم‌ها) ارزیابی می‌شوند و کروموزوم‌هایی که می‌توانند جواب بهینه مسئله مورد نظر (هدف) را نمایش دهند، شانس بیشتری برای تولید مثل نسبت به جواب‌های ضعیف‌تر دارند. به عبارت دیگر، فرصت‌های تولید مثل بیشتری به این دسته از کروموزوم‌ها اختصاص داده می‌شود. به‌عنوان مثال $Z(V(1), V(2), \dots, V(n_w + n_r))$ مجموعه‌ای از تمام ساختارهای ممکن شبکه را نشان می‌دهد که در واقع کروموزوم‌ها با استفاده از اولویت‌دهی تولید می‌شوند، بدین معنی که مقادیر سفارش مجدد در تمام انبارها با توجه به مقادیر الویت دار سفارش دهی تعیین می‌شود. هر کروموزوم به‌عنوان یک راه‌حل است تا با بررسی تمامی کروموزوم‌ها به بهترین راه‌حل ممکن برسیم. در این مرحله امکان محاسبه مقدار تابع هدف (هزینه کل مورد انتظار) وجود دارد، الگوریتم‌های ژنتیک به جای اینکه به‌طور مستقیم با مقادیر پارامترهای مسئله سروکار داشته باشند، با نمایشی کدبندی‌شده از مجموعه پارامترهای مسئله کار می‌کنند و جمعیتی متشکل از نقاط در یک فضای جستجو را برای یافتن جواب‌های مسئله جستجو می‌کنند. از آنجایی که عملیات جستجو از مجموعه‌ای از جواب‌ها (جواب‌های اولیه به‌طور تصادفی در

$$V(s)_{new(1)} = V(s)^{(1)} \text{ و } V(s)_{new(2)} V(s)^{(2)} \quad (24)$$

$$(s = 1, \dots, n_w + n_r)$$

سپس طبق رابطه (۲۵) عدد تصادفی نقطه تقاطع تولید می شود

$$x_1 \leftarrow U(1, n_w + n_r) \text{ بطوریکه}$$

$$V(s)_{new(1)} = V(s)^{(1)} \text{ و } V(s)_{new(2)} V(s)^{(1)} \quad (25)$$

$$(s = x_1 + 1, \dots, n_w + n_r)$$

مقادیر $V(s)$ در سمت راست نقطه عملگر تقاطع است که بین دو کروموزوم والد مبادله می شود. برای اجتناب از الویت یکسان جایگزینی بعد از تقاطع، عملیات مرتب سازی در رابطه (۲۶) صورت می گیرد.

$$\text{sort}_n(\cdot) \leftarrow \text{sorting } V(s)^{(n)} \quad (26)$$

$$(n = 1, 2; s = x_1 + 1, \dots, n_w + n_r)$$

مرحله ۸: عملگر جهش با تغییر کوچک و تصادفی در کروموزوم تنوع در جمعیت را ایجاد می کند. برای هر کروموزوم رابطه (۲۷) برقرار است:

$$Z(n) = (V(1)^{(n)} \dots V(I + J)^{(n)}) \quad (27)$$

در نسل $r_3 \leftarrow u(0,1)$ اگر $r_3 < r_3$ کوچکتر از نرخ جهش باشد جهش انجام می گیرد در غیر اینصورت هیچگونه جهشی انجام نمی شود. در واقع، با این جهش دو عنصر به طور تصادفی انتخاب می شوند و موقعیت آنها را با هم عوض می کنیم تا به جواب برسیم.

مرحله ۹: تنظیم $g = g + 1$ را انجام داده و به مرحله ۲ رفته و در ادامه به نسل بعد می رویم.

بر اساس نتایج اولیه، اندازه جمعیت، نرخ تقاطع و نرخ جهش را به ترتیب $N = 100$ و $G = 1000$ و $\text{CrossRate} = 0.8$ و $\text{MutRate} = 0.2$ قرار می دهیم و بهبود راه حل در ۲۰۰ نسل متوالی انجام می شود.

۶- تحلیل حساسیت

مهمترین پارامترهای موجود جهت بررسی مدل ریاضی مساله شامل هزینه های سفارش، حمل و نقل و ذخیره سازی، ظرفیت مراکز تسهیلات و وسایل نقلیه و مقادیر تقاضا در جدول (۳) ارائه شده است. مدل ریاضی مسئله توسط نرم افزار گمز و متلب کد نویسی گردید و خروجی آنها به همراه پاسخ بهینه نهایی و تحلیل حساسیت های مربوطه در ادامه آمده است.

مرحله ۳: جستجوی بهترین مقدار تابع هدف

$$TC_{highest} = \max \{TC(Z^n)\}$$

$$TC_{best} = \min \{TC(Z^n)\}$$

TC_{best} کوچکتر از TC_{best} باشد پس داریم:

$$TC_{best} = TC_{best}^g; Z_{best} = Z^{(n)}$$

مقایسه می گردد.

مرحله ۴: اگر $g = G$ ، Z_{best} و TC_{best} را انتخاب می کنیم. در غیر این صورت به مرحله ۵ رفته و بررسی می شود که آیا معیار توقف برآورده شده است یا خیر.

مرحله ۵: محاسبه مقدار مناسب برای هر کروموزوم که از رابطه

$$(21) \text{ بدست می آید و جمعیت به صورت صعودی مرتب می شود.}$$

$$FV^{(n)} = TC_{highest} - TC(Z^{(n)}) \quad (21)$$

مرحله ۶: ترکیب سه روش انتخاب کروموزوم

فرآیند انتخاب والدین (کروموزوم ها) جهت ایجاد فرزندان برای

نسل بعدی طبق مراحل زیر صورت می گیرد.

۱-۶ بهترین راه حل به عنوان کروموزوم اول برای نسل بعدی

$$\text{انتخاب می شود } (Z^{(1)} = Z_{best})$$

۲-۶ برای هر یک از کروموزوم های قدیمی موجود، مقدار

متناسب نرمال شده طبق رابطه (۲۲) محاسبه می شود.

$$\text{prob}^{(n)} = \frac{FV^{(n)}}{\sum_{n=1}^N FV^{(n)}} \quad (22)$$

متغیر تصادفی $r_1 \leftarrow u(0,1)$ را ایجاد کرده و اولین کروموزوم

انتخاب می گردد که مقدار تناسب نرمال انباشته آن برابر است با

r_1 . این روش تا زمانی که کروموزوم ها انتخاب شوند تکرار

می گردد.

۳-۶ در نهایت کروموزوم های جدید تولید می شود.

مرحله ۷: عملگر تقاطع: مشابه تقاطعی که در تولید مثل داشتیم،

بیش از یک والد انتخاب شده و یک یا چند فرزند توسط والدین

تولید می شوند. از $N/2$ جفت کروموزوم تشکیل می شود که هر

جفت کروموزوم در رابطه (۲۳) تعریف می شوند.

$$z^{(1)}(v(1)^{(1)} \dots v(n_w + n_r)^{(1)}) \quad (23)$$

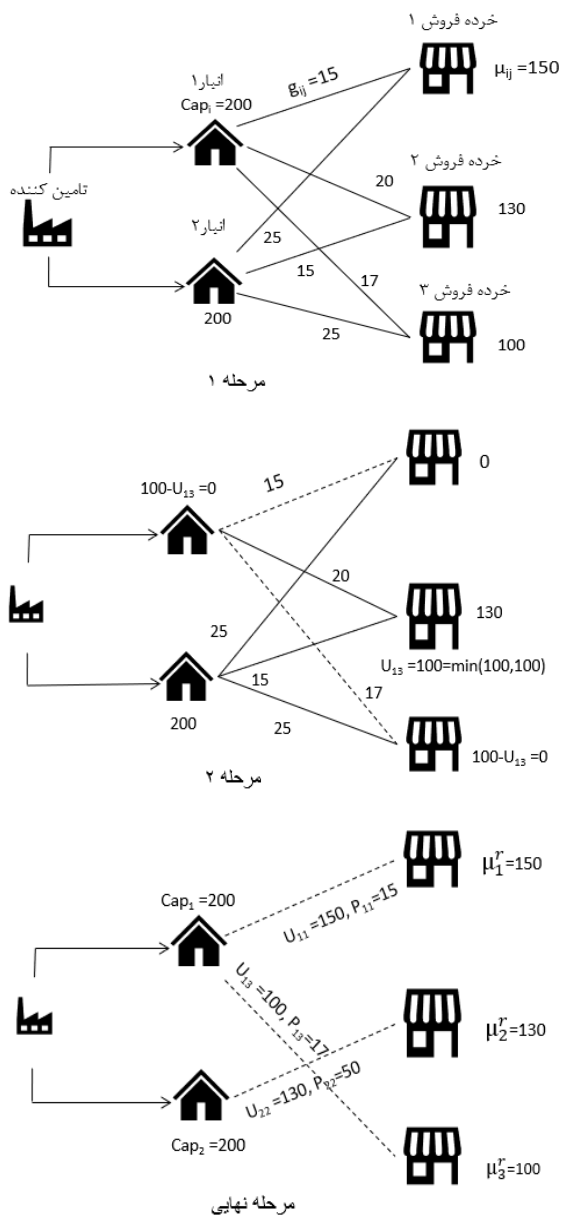
$$z^{(2)}(v(1)^{(2)} \dots v(n_w + n_r)^{(2)})$$

عدد تصادفی $r_2 \leftarrow u(0,1)$ تولید می شود بطوریکه $r_2 < \text{CrossRate}$

باشد مطابق با رابطه (۲۴) تقاطع را ایجاد می کنیم

در غیر اینصورت متقاطع نیست.

آنجایی که توزیع از انبار ۱ به خرده‌فروش ۳ ارزان‌تر است جریان ۵۰ واحدی را از انبار ۱ به خرده‌فروش ۳ تخصیص می‌دهیم و این رویه را ادامه داده تا زمانی که تقاضای مورد انتظار در همه خرده‌فروش‌ها برآورده شود. تکنیک فرا ابتکاری ژنتیک برای حل مساله بهینه‌سازی با فضای جستجوی بزرگ استفاده می‌شود که با اتخاذ یک رویکرد یکپارچه می‌توانیم مسئله مکانیابی، حمل‌ونقل و موجودی را به‌طور هم‌زمان حل کنیم. در این مسیر، الگوریتم تعدادی از راه‌حل‌های ممکن را به‌عنوان مجموعه‌ای از تمام ساختارهای ممکن شبکه تعریف می‌کند که کاندیدای راه حل بهینه را می‌توان از میان آن‌ها انتخاب نمود.



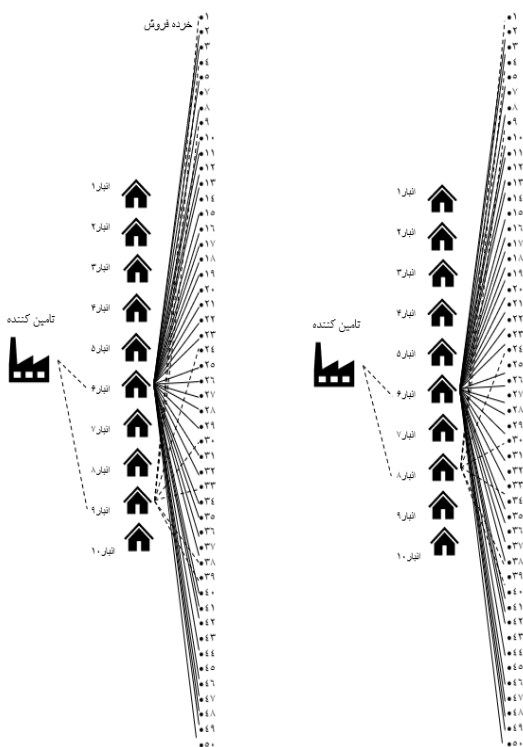
شکل (۳). نمایش مراحل رمزگذاری مبتنی بر اولویت‌دهی (تا زمانی که تقاضای مورد انتظار) در خرده‌فروشان برآورده شود)

جدول (۳). عناوین پارامترها و مقادیر آنها

مقادیر	پارامترها
\$۴۰	هزینه سفارش در انبار i
\$۴۵	هزینه سفارش در خرده‌فروشی j
\$۳۰	هزینه ذخیره ناشی از واحد و واحد زمان در انبار i
\$۳۵	هزینه ذخیره ناشی از هر واحد و واحد زمان در خرده‌فروش j
۴۵۰۰	ظرفیت انبار i
\$۲۰	هزینه حمل‌ونقل ثابت در هر تحویل از تأمین‌کننده به انبار i
\$۱۰	هزینه حمل‌ونقل ثابت در هر تحویل از انبار i به خرده‌فروش j
\$۰.۰۲	هزینه متغیر حمل‌ونقل برای هر واحد ارسال شده از تأمین‌کننده به انبار i
\$۰.۰۵	هزینه متغیر حمل‌ونقل برای هر واحد ارسال شده از انبار i به خرده‌فروش j
\$۳	هزینه نگهداری واحد و واحد زمان در انبار i
\$۴	ساعت j هزینه نگهداری واحد و واحد زمان در خرده‌فروش j
h_{10}	زمان حمل‌ونقل از تأمین‌کننده به انبار i
h_6	زمان حمل‌ونقل از انبار i به خرده‌فروش j
\$۱۰۰	M_i هزینه ثابت به ازای واحد زمان افتتاح انبار i
\$۵۰	V_i هزینه متغیر برای هر واحد انبار عملیاتی i
۱۰۰	تقاضای مورد انتظار در واحد زمان در خرده‌فروش j
۰/۰۲	انحراف معیار تقاضا در واحد زمان در خرده‌فروش j

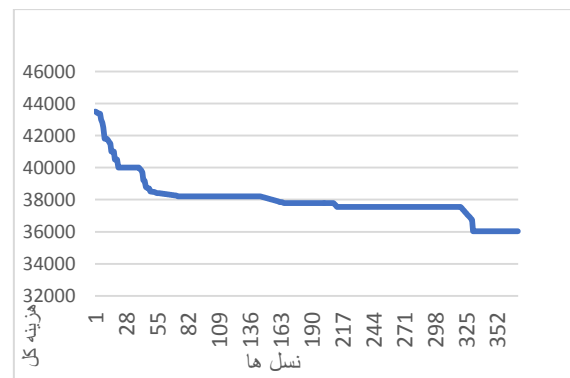
جهت درک بهتر رفتار سیستم، مدل ریاضی مساله با مثال‌های عددی نزدیک به مدل واقعی در صنایع داروسازی حل شده و تحلیل حساسیت بر روی مولفه‌های کلیدی طراحی شبکه صورت می‌گیرد. در این مطالعه مساله در راهبردهای کنترل موجودی هماهنگ و کنترل موجودی غیرهماهنگ تجزیه و تحلیل می‌شود. در شکل (۳) مکانیزم رمزگذاری مبتنی بر اولویت‌دهی ارائه شده است. بر این اساس، خرده‌فروش ۱ بالاترین اولویت را دارد و از آنجایی که توزیع واحدها از انبار ۱ تا خرده‌فروش ۱ ارزان‌تر است لذا ما یک جریان ۱۰۰ واحدی را از انبار ۱ به خرده‌فروش ۱ اختصاص می‌دهیم تا تقاضا در خرده‌فروش ۱ برآورده شود. در مرحله بعد از

انبارهایی با ظرفیت کم و هزینه‌های حمل‌ونقل پایین هستند. سهم کاهش هزینه موجودی در صرفه‌جویی هزینه کل بسیار قابل توجه است و هزینه کل موجودی به‌طور مستقیم به هزینه نگهداری موجودی بستگی دارد. جدول (۴) همچنین تعداد انبارها را برای هر دو راهبرد نشان می‌دهد که به‌طور متوسط راهبرد کنترل موجودی غیر هماهنگ نسبت به هماهنگ انبار بیشتری استفاده می‌کند. اما تفاوت میانگین بسیار کوچک است و در زمان تفسیر آن باید دقت کرد زیرا استفاده از کنترل موجودی هماهنگ همیشه منجر به کاهش انبارها نمی‌شود و مواردی وجود دارد که باعث افزایش انبارها نیز شده است. بر اساس جدول (۵) رویکرد یکپارچه علی‌رغم زمان‌های محاسباتی طولانی میانگین بیشتری ایجاد می‌کند. صرفه‌جویی ۲٫۲٪ در هزینه کل و ۸٫۱٪ در هزینه‌های موجودی در مقایسه با رویکرد غیرهماهنگ قابل ملاحظه است. از دیدگاه کلی اتخاذ رویکرد یکپارچه به‌ویژه برای شرکت‌هایی که با سود اندک کار می‌کنند مفید خواهد بود. شکل ۵ تفاوت طراحی شبکه بین راهبرد کنترل موجودی هماهنگ و ناهماهنگ را نشان می‌دهد با ۱۰ انبار و ۵۰ خرده‌فروش دارای تعداد انبار و خرده‌فروش یکسان ولی طراحی شبکه متفاوت هستند.



شکل (۵). تفاوت طراحی شبکه بین راهبرد کنترل موجودی هماهنگ و راهبرد کنترل موجودی غیرهماهنگ

در این راستا، با اتخاذ کنترل موجودی هماهنگ میزان صرفه‌جویی در هزینه کل فراهم می‌شود. نمودار همگرایی ژنتیک در شکل (۴)، میزان صرفه‌جویی در هزینه کل را با افزایش تعداد نسل‌ها نشان می‌دهد و در تعداد نسل‌های بالاتر هیچگونه بهبود دیگری حاصل نمی‌شود. در جدول (۵) خلاصه‌ای از عملکرد محاسباتی الگوریتم ژنتیک ارائه می‌گردد که شامل میانگین زمان‌های محاسبه، میانگین زمان لازم برای رسیدن به آخرین نسل‌هایی (۲۰۰) که در آن‌ها هیچ بهبود راه‌حلی حاصل نمی‌شود و میانگین درصد کاهش هزینه کل از راه‌حل اولیه را نشان می‌دهد. همچنین، میانگین کاهش هزینه و تعداد انبارها با کنترل موجودی غیرهماهنگ در مقابل کنترل موجودی هماهنگ، میانگین موجودی، حمل‌ونقل، کاهش هزینه ثابت انبار و تعداد انبارها برای هر دو راهبرد محاسبه شده است.



شکل (۴). نمودار همگرایی

در جدول ۶ برای هر سطح از فاکتورهای طراحی شبکه تعداد نمونه‌هایی ارائه شده است، تعداد نمونه در هر سلول به‌جز ظرفیت انبار نشان‌دهنده حداقل، متوسط یا حداکثر نتایج نمونه است که بیشترین آن ۲۰۰ نمونه است و همچنین نتایج برای هر سطح از ظرفیت انبار از ۲۰۰ نمونه محاسبه شده است. میانگین کلی کاهش هزینه برای رویکرد دومرحله‌ای ۱۰٫۷ درصد و رویکرد یکپارچه ۹٫۷۳ درصد می‌باشد. به این ترتیب در همه موارد رویکرد یکپارچه بهتر از رویکرد دومرحله‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است در مرحله اول، بهترین راه‌حل‌های به دست آمده با دو رویکرد مورد استفاده برای حل مسئله در راهبرد NCIC را انتخاب می‌کنیم سپس با طراحی شبکه حاصل و پارامترهای کنترل موجودی به دست آمده در این راه‌حل، به عنوان نقطه شروع مرحله دوم استفاده می‌شود. در برخی موارد کاهش هزینه می‌تواند نزدیک به ۱۰٪ باشد، بنابراین اتخاذ کنترل موجودی هماهنگ در طراحی شبکه زنجیره تامین مزایای قابل توجهی ایجاد می‌کند. به‌ویژه برای شبکه‌های زنجیره‌تأمینی که دارای

جدول (۴). میانگین کاهش هزینه و تعداد انبارها با کنترل موجودی غیر هماهنگ در مقابل کنترل موجودی هماهنگ

فاکتورها	سطح سفارش	درصد کاهش هزینه													
		هزینه کل						موجودی		حمل و نقل		افتتاح انبار		تعداد انبار	
		دومرحله‌ای CIC			ژنتیک - یکپارچه CIC			CIC	CIC	CIC	CIC	CIC	NCIC	CIC	
		Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	دومرحله‌ای	ژنتیک یکپارچه	ژنتیک یکپارچه	ژنتیک یکپارچه	ژنتیک یکپارچه	ژنتیک یکپارچه	ژنتیک یکپارچه	
هزینه سفارش	کم	۰.۰۹	۱.۶۵	۷.۱	۰.۲۱	۲.۸۳	۱۰.۲	۶.۱	۱۲.۱	۰.۳۰	۰.۵۲	۵.۱	۲.۰۱		
	زیاد	۰.۰۳	۱.۹۲	۵.۸	۰.۱۴	۳.۵۷	۸.۵۶	۷.۱	۱۳.۱۵	۰.۲۰	۰.۳	۵.۰۴	۲.۰۵		
هزینه نگهداری	کم	۰.۰۹	۱.۴۵	۵.۲	۰.۱۵	۲.۷۸	۷.۷۸	۶.۶	۱۲.۲	۰.۲۳	۰.۰۵-	۵.۰۶	۲.۱۰		
	زیاد	۰.۰۳	۲	۷	۰.۸۱	۳.۸۸	۹.۹۲	۷.۱	۱۴.۲	۰.۲۵	۰.۳۱	۵.۰۹	۲.۲۰		
نرخ پرشدن	کم	۰.۰۱۱	۱.۷۸	۵.۸	۰.۷۶	۳.۶۷	۹.۳۸	۶.۲	۱۳.۲	۰.۱۷	۰.۴۵	۵.۲۵	۲.۰۵		
	زیاد	۰.۰۳	۱.۹	۶.۶۹	۰.۱۵	۳.۳۵	۱۰.۱	۷.۲	۱۴.۲	۰.۱۸	۰.۱۶	۵.۲۰	۲.۳۰		
توسعه تقاضا	کم	۰.۰۳	۱.۶۳	۵.۸	۰.۱۶	۳.۲۰	۸.۴۴	۷.۵	۱۰.۶	۰.۱۰	۰.۰۱	۵.۰۲	۲.۰۳		
	زیاد	۰.۰۹	۱.۸۲	۶.۹	۰.۱۸	۳.۳۸	۹.۹۰	۸.۱	۱۶.۲۰	۰.۲۳	۰.۴۵	۵.۱۰	۲.۰۷		
زمان حمل و نقل	کم	۰.۰۴	۱.۶۱	۵.۹	۰.۱۸	۳.۰۲	۸.۴۴	۶.۱	۱۱.۴۵	۰.۲۵	۰.۳۱	۵.۳۰	۲.۳۰		
	زیاد	۰.۰۳	۱.۹۴	۶.۹	۰.۱۵	۳.۵۰	۹.۷۹	۷.۲	۱۴.۵	۰.۳۰	۰.۱۶	۵.۱۷	۲.۳۰		
ظرفیت انبار	کم	۰.۰۳	۱.۹۸	۶.۹	۰.۱۹	۳.۴۶	۹.۷۹	۸.۱	۱۴.۶۰	۰.۰۵	۰.۸۷	۵.۱	۳.۵۰		
	زیاد	۰.۰۹	۱.۸۹	۵.۸۵	۰.۱۵	۳.۶۸	۹.۳۱	۶.۳	۱۳.۴۰	۰.۰۷	۰.۲۸	۵.۲۷	۲.۹۸		
هزینه حمل و نقل	کم	۰.۰۹	۱.۵۸	۳.۵	۰.۱۶	۲.۴۵	۸.۱	۵.۸	۱۱.۴۵	-۰.۱۴	۰.۰۱	۵.۸۵	۲.۳۵		
	زیاد	۰.۱۴	۲.۰۰	۷.۲۵	۰.۲۵	۳.۱	۱۰.۲	۵.۹	۱۳.۲	۰.۲۰	۰.۲۶	۵.۰۴	۳.۲۰		
تعداد	کم	۰.۹۸	۱.۳	۳.۵	۲.۲	۴.۱	۵.۸	۶.۳	۱۳.۳۰	۰.۱۶	۰.۱۰	۵.۱۴	۳.۵۰		
	زیاد	۰.۰۳	۱.۶۱	۷.۱	۰.۱۵	۲.۵۰	۱۰	۴.۲	۱۰.۲	۰.۳۱	۰.۲۹	۴.۱۵	۲.۴۵		
میانگین کلی		۰.۰۱۱	۱.۸۴	۴.۲	۱.۶	۳.۱	۸.۱	۷.۹	۱۷.۲	۰.۰۹	۰.۱۶	۴.۱۵	۳.۲۰		

نکته: علامت منفی نشان دهنده این است که هزینه CIC بالاتر از NCIC می‌باشد.

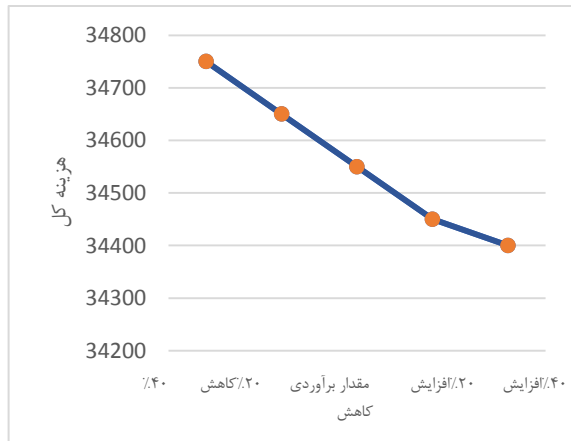
جدول (۵). عملکرد محاسباتی الگوریتم ژنتیک

کاهش کل هزینه	زمان رسیدن به راه حل نهایی (ثانیه)	کل زمان محاسبه (ثانیه)	خرده فروش
۸,۲۵٪	۳۹۸,۵۵	۹۷۲,۵	۵۰ NCIC
۱۳,۲۸٪	۷۰۲,۳۰	۳۲۵۱,۴۵	۲۰۰ NCIC
۹,۵۲٪	۴۸۰,۳۰	۸۵۰,۲۳	۵۰ CIC
۱۰,۲۲٪	۱۰۱۲,۵۱	۳۱۰۲,۱۴	۲۰۰ CIC

جدول (۶). تغییرات مولفه‌های طراحی شبکه بر اساس تعداد خرده‌فروشان در رویکرد کنترل موجودی هماهنگ

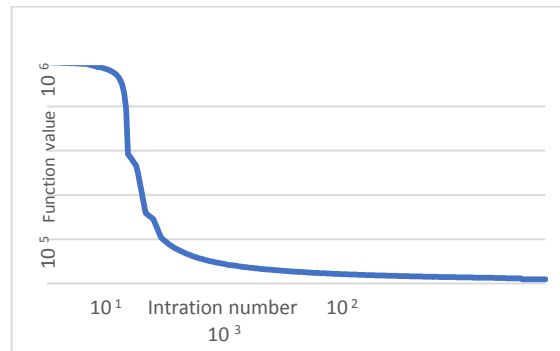
هزینه حمل و نقل	ظرفیت انبار	زمان حمل و نقل	تقاضا	نرخ پر شدن	هزینه نگهداری	هزینه سفارش دهی	سطح سفارش
۳۸	۸۷۰۰	۶۲	۷۸	۵۸	۵	۸۰	کم
-	۳۹۰۰	-	-	-	-	-	متوسط
۴۰	۳۲۰۰	۶۹	۸۳	۶۲	۷	۸۲	بالا
۲۰	۴۵۰۰	۴۱	۴۶	۳۰	۳	۴۰	کم
-	۴۲۰۰	-	-	-	-	-	متوسط
۱۵	۲۶۰۰	۷۲	۴۹	۳۹	۵	۳۸	بالا

کاهش ظرفیت انبار باعث افزایش مقادیر کمبود کالا شده و افزایش ظرفیت این مراکز مقادیر کمبود کالا را کاهش می‌دهد. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده در صورتیکه ظرفیت انبار افزایش یابد تا بازه‌ای، با کاهش هزینه کمبود و هزینه کل مواجه‌ایم که در واقع در مسیر بهینه قرار داریم. این سیر نزولی در نمودار هزینه کل ادامه دارد و پس از آن با افزایش سایر هزینه‌ها (مانند هزینه نگهداری) هزینه کل نیز افزایش می‌یابد. همچنین هزینه حمل و نقل با افزایش ظرفیت انبارها و تمرکز نگهداری کالا در انبار مشخص و ارسال آن به خرده‌فروشان کاهش می‌یابد که تا زمان رسیدن به نقطه بهینه تاثیر مثبت بر کاهش هزینه‌ها داشته و روند نزولی نمودار هزینه کل را به دنبال دارد.



شکل (۷). نمودار تحلیل حساسیت، هزینه کل نسبت هزینه متغیر حمل و نقل برای هر واحد ارسال شده از انبار آ به خرده‌فروش J

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود در مواردی که دو راهبرد تعداد انبارهای یکسانی دارند مکانیابی بهینه بر اساس موجودی و هزینه‌های حمل و نقل در هر دو راهبرد انجام می‌شود. اما تفاوت ساختاری نشان دهنده تاثیر مهمی است که کنترل موجودی هماهنگ بر طراحی زنجیره تامین دارد. طبق جدول (۶) تاثیر تغییرات مولفه‌های طراحی شبکه زنجیره تامین بر اساس تعداد خرده‌فروشان (۵۰ یا ۲۰۰ خرده‌فروش) در راهبرد کنترل موجودی هماهنگ آمده است. این تاثیرات هنگامی نمایان می‌شود که نرخ هزینه نگهداری و نرخ پر شدن بالاتر بوده و ظرفیت انبار و هزینه حمل و نقل پایین است. همانطور که در شکل (۶) خروجی گمز نشان داده شده است کاهش مقدار تابع بهبود وجود ندارد و در نهایت جواب بهینه خروجی حاصل می‌گردد.



شکل (۶). نمودار خروجی نرم‌افزار گمز در محاسبه هزینه کل

بهره‌برداری انبارها سود می‌برند ولی ممکن است در برخی موارد خاص شبکه با کنترل موجودی هماهنگ نیز منجر به باز کردن انبارهای بیشتر شود.

روند اجرایی پژوهش حاضر در مدیریت لجستیک صنایع غذایی، داروسازی و... بیشترین انطباق را داراست در این راستا، به زنجیره توزیع شرکت های پخش سراسری دارو اشاره می‌کنیم که ساختاری متشکل از انبار مرکزی و شعب استانی دارند و تأمین کنندگان دارو از طریق این شرکت‌ها داروی خود را توزیع می‌کنند. هر شرکت پخش دارای شعبی در سراسر کشور است و هر شعبه هم انبارهایی در نقاط مختلف دارد. از تصمیمات راهبردی و بلندمدت زنجیره تأمین دارو، طراحی شبکه توزیع آن است که این تصمیم در گام اول شامل تعیین مکان بهینه تسهیلات موجود در زنجیره و تعیین الگوی توزیع محصولات در شبکه است.

موقعیت شرکت های تأمین‌کننده و نقاط تقاضا، میزان تقاضای هر مشتری، داروهای تحت قرارداد بین شرکت پخش با هر تأمین‌کننده از پیش مشخص است. شرکت‌های تأمین‌کننده داروها را برای شعبه مرکزی شرکت پخش ارسال می‌کنند و شعبه مرکزی داروها را در بین شعب استانی تقسیم می‌نماید. مکانیابی بهینه شعب شرکت پخش و همزمان تعیین الگوی پخش برای همه داروها در سطح کشور موضوعی حیاتی است، به نحوی که هزینه کل زنجیره تأمین شامل هزینه احداث مراکز توزیع و هزینه توزیع همه اقلام دارویی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر کنترل موجودی هماهنگ در طراحی شبکه زنجیره تأمین از دو جنبه با چالش جدی مواجه است، اول اینکه رویکرد مدون و نظام یافته‌ای برای ارزیابی عملکرد این روش ابتکاری توسعه پیدا نکرده است و ثانياً زمان‌های محاسباتی برای حل مسائل بزرگ‌تر بسیار طولانی است همچنین بکارگیری یک ابزار پشتیبان تصمیم می‌تواند رویکرد موثری در گذر از این چالش‌ها باشد. از این رو طراحی یک تقریب کارآمدتر و یا روش ابتکاری‌تر هنوز جای تحقیق و بررسی بیشتری دارد تا بتوانیم با تقریب بسیار نزدیک‌تر این محاسبات را انجام دهیم و کاهش هزینه‌های بیشتری دست یابیم.

۸- مراجع

- [1] F. Wissuwa, C. F. Durach, and T. Y. Choi, "Selecting resilient suppliers: Supplier complexity and buyer disruption," *International Journal of Production Economics*, vol. 253, p. 108601, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108601.
- [2] Z. Li, Z. Liu, Y. Zhang, H. Zhang, and D. Fu, "Research on resilience assessment and disaster prevention strategy of active distribution network," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 734–749, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.09.198.
- [3] R. H. Teunter and S. Kuipers, "Inventory control with demand substitution: new insights from a two-product Economic Order Quantity analysis," *Omega*, vol. 113, p. 102712, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.omega.2022.102712.

بر اساس آنچه ذکر گردید، رویکرد اصلی پژوهش حاضر افزایش قابلیت اطمینان مدیریت موجودی است از این رو با متوازن سازی نقاط سفارش مجدد در سراسر سطوح زنجیره تأمین هماهنگی موجودی ارتقا یافته است و به دنبال آن موجودی انبارها بطور قابل توجهی کاهش یافته است. از این رو، راهبرد کنترل موجودی هماهنگ اثرات مثبت اقتصادی برای مدیران زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. از طرف دیگر بکارگیری رویکرد کنترل انطباقی برای مواجه با عدم اطمینان تقاضا استواری مدل را ارتقا می‌دهد و سبب می‌شود مدیران شرکت‌ها برآورد دقیقی از الگوی رفتاری مراکز سفارش دریافت کنند.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل‌ها و راه‌حلهایی در راستای راهبردهای کلیدی کنترل موجودی برای طراحی زنجیره تأمین توسعه داده شد که نه تنها مسئله مکانیابی، حمل‌ونقل و موجودی را بررسی می‌کند بلکه کنترل موجودی با نرخ پر شدن در شبکه را نیز در نظر می‌گیرد. دو راهبرد مختلف باهم مقایسه گردید و بر اساس اینکه آیا کنترل موجودی هماهنگ اجرا شود یا خیر به بررسی و تحلیل آن‌ها پرداختیم. با توجه به پیچیدگی مسئله بهینه‌سازی یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل بهینه مدل ریاضی مساله استفاده شد و طی فرایند پردازش و محاسبه راه‌حل های بهینه مورد جستجو قرار گرفت. با بکارگیری الگوریتم ژنتیک، دو رویکرد یکپارچه و دومرحله‌ای با یکدیگر مقایسه شد که نتایج نشان می‌دهد زمان محاسبات متد دومرحله‌ای بیشتر است ولی عملکرد رویکرد یکپارچه بهتر بوده و در مقایسه با رویکرد دومرحله‌ای صرفه‌جویی بیشتری در هزینه کل و هزینه کنترل موجودی ایجاد می‌کند. مطالعه عددی پژوهش حاضر نشان می‌دهد، راهبرد کنترل موجودی هماهنگ هزینه‌های موجودی را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و صرفه‌جویی ۵٪ در هزینه کل و نزدیک به ۱۰٪ در موارد خاص را به دنبال دارد. همچنین زمانی که تعداد خرده‌فروشان بیشتر (۲۰۰ خرده‌فروش) و مسئله بزرگ‌تر باشد کاهش هزینه ۱۲٪ بیشتر از زمانی است که تعداد خرده‌فروشان کم‌تر (۵۰ واحد خرده‌فروش) و مسئله کوچک‌تر باشد رخ می‌دهد که کاهش قابل توجه هزینه موجودی برای مسائل بزرگ‌تر در مقایسه با مسائل کوچک‌تر را در پی دارد که موضوع حیاتی فوق برای شرکت‌هایی که در محیط تجاری بسیار رقابتی با سود محدود فعالیت می‌کنند قابل توجه است. در واقع کنترل موجودی هماهنگ سبب می‌شود که شرکت‌ها به فضای انبار کمتر نیاز داشته و هزینه نگهداری کمتری نسبت به کنترل موجودی غیر هماهنگ متقبل شوند. لازم به ذکر است شبکه های زنجیره تأمین از کاهش هزینه‌های باز کردن و

- [18] M. Shahabi, S. Akbarinasaji, A. Unnikrishnan, and R. James, "Integrated Inventory Control and Facility Location Decisions in a Multi-Echelon Supply Chain Network with Hubs," *Networks and Spatial Economics*, vol. 13, no. 4, pp. 497–514, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11067-013-9196-4.
- [19] A. Diabat, E. Dehghani, and A. Jabbarzadeh, "Incorporating location and inventory decisions into a supply chain design problem with uncertain demands and lead times," vol. 71, pp. 872–893, Oct. 2017. doi: 10.1016/j.asoc.2017.07.028.
- [20] K. Taxakis and C. Papadopoulos, "A design model and a production–distribution and inventory planning model in + .multi-product supply chain networks," *International Journal of Production Research*, vol. 54, no. 21, pp. 6436–6457, Mar. 2016, doi: 10.1080/00207543.2016.1158882.
- [21] J.-H. Kang and Y.-D. Kim, "Inventory control in a two-level supply chain with risk pooling effect," *International Journal of Production Economics*, vol. 135, no. 1, pp. 116–124, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.11.014.
- [22] R. P. Manatkar, K. Karthik, S. K. Kumar, and M. K. Tiwari, "An integrated inventory optimization model for facility location-allocation problem," *International Journal of Production Research*, vol. 54, no. 12, pp. 3640–3658, Dec. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1120903.
- [23] Y.-C. Tsao, D. Mangotra, J.-C. Lu, and M. Dong, "A continuous approximation approach for the integrated facility-inventory allocation problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 222, no. 2, pp. 216–228, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2012.04.033.
- [24] Y. Chen, L. Li, H. Peng, J. Xiao, Y. Yang, and Y. Shi, "Particle swarm optimizer with two differential mutation," *Applied Soft Computing*, vol. 61, pp. 314–330, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.asoc.2017.07.020.
- [25] T. J. Randy, "Supply Chain Resilience: A Case of Balancing the Supply Chain for Long-term Sustainability," *Council of Supply Chain Management Professionals Cases*, vol. 2018, no. 1, pp. 1–20, Nov. 2018, doi: 10.1108/case.cscmp.2018.000023.
- [26] Puga Berling, L. Johansson, and J. Marklund, "Controlling inventories in omni/multi-channel distribution systems with variable customer order-sizes," *Omega*, vol. 114, p. 102745, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.omega.2019.102745.
- [27] Q. Zhao and C. Li, "Two-Stage Multi-Swarm Particle Swarm Optimizer for Unconstrained and Constrained Global Optimization," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 124905–124927, 2020, doi: 10.1109/access.2020.3007743.
- [28] Cameron MacKenzie, 2021 *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, Electronic ISBN:978-1-6654-1250-6.
- [29] Lomega, M. Fauzan, and I. M. C. Fanestia, "Supply Chain Resources of Red Chili Based on Food Supply Chain Network in Kulonprogo Indonesia," *Advances in Biological Sciences Research*, 2022, doi: 10.2991/absr.k.220101.023.
- [30] T. F. Espino-Rodríguez and M. G. Taha, "Supplier innovativeness in supply chain integration and sustainable performance in the hotel industry," *International Journal of Hospitality Management*, vol. 100, p. 103103, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.ijhm.2021.103103.
- [4] J. Stentoft, O. S. Mikkelsen, and J. K. Jensen, "Offshoring and backshoring manufacturing from a supply chain innovation perspective," *Supply Chain Forum: An International Journal*, vol. 17, no. 4, pp. 190–204, Oct. 2016, Doi:10.1080/16258312.2016.1239465.
- [5] S. Laari, P. Wetzel, J. Töyli, and T. Solakivi, "Leveraging supply chain networks for sustainability beyond corporate boundaries: Explorative structural network analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 377, p. 134475, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134475.
- [6] E. Wari and W. Zhu, "A survey on metaheuristics for optimization in food manufacturing industry," *Applied Soft Computing*, vol. 46, pp. 328–343, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.asoc.2016.04.034.
- [7] D. Nyakam Nya, S. Hachour, and H. Abouaissa, "Inventory Control in Supply Chain: a Model-Free Approach*," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 10, pp. 2755–2760, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.10.141.
- [8] B. B. Keskin and H. Üster, "Production/distribution system design with inventory considerations," *Naval Res. Logist. (NRL)* vol. 59 (2), pp. 172–195, Sep. 2012. doi: 10.1016/j.ejor.2021.09.002.
- [9] Z.-H. Zhang and A. Unnikrishnan, "A coordinated location-inventory problem in closed-loop supply chain," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 89, pp. 127–148, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.trb.2016.04.006.
- [10] L. Rarità, I. Stamova, and S. Tomasiello, "Numerical schemes and genetic algorithms for the optimal control of a continuous model of supply chains," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 388, p. 125464, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.amc.2020.125464.
- [11] S.-K. Fan, C.-H. Jen, and J.-X. Lee, "Profile Monitoring for Autocorrelated Reflow Processes with Small Samples," *Processes*, vol. 7, no. 2, p. 104, Feb. 2019, doi: 10.3390/pr7020104.
- [12] F. Silva and L. Gao, "A Joint Replenishment Inventory-Location Model," *Networks and Spatial Economics*, vol. 13, no. 1, pp. 107–122, May 2012. doi: 10.1007/s11067-012-9174-2.
- [13] Evangelos Theodorou, Evangelos Spiliotis, Vassilios Assimakopoulos, "Optimizing inventory control and Logistics," vol. 12, pp. 2192-4376, 2023. doi.org/10.1016/j.ejtl.2022.100103.
- [14] Oussama Kajjoune, Tarik Aouam, Tarik Zouadi, Ravi Prakash Ranjan, "Dynamic lot-sizing in a two-stage supply chain with liquidity constraints and financing options," *International Journal of Production Economics*, vol. 258, 2023. 108799, ISSN 0925-5273, doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108799.
- [15] P. Berling and J. Marklund, "Multi-echelon inventory control: an adjusted normal demand model for implementation in practice," *International Journal of Production Research*, vol. 52, no. 11, pp. 3331–3347, Jan. 2014, doi: 10.1080/00207543.2013.873555.
- [16] R. Z. Farahani, H. Rashidi Bajgan, B. Fahimnia, and M. Kaviani, "Location-inventory problem in supply chains: a modelling review," *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 12, pp. 3769–3788, Dec. 2014, doi: 10.1080/00207543.2014.988889.
- [17] B. Fleischmann, "The impact of the number of parallel warehouses on total inventory," *OR Spectrum*, vol. 38, no. 4, pp. 899–920, Apr. 2016, doi: 10.1007/s00291-016-0442-2.