نشریه تصمیم گیری و تحقیق در عملیات

Journal of Decisions and Operational Research

دوره ۲، شماره (۲)، بهمن ۱۳۹۶

# ارائه مدل دوهدفه مدیریت موجودی با تقاضای فازی برای فروشنده‌های متعدد

**ویدا کرباسی بناب، مهدی یوسفی نژاد عطاری*، انیسه نیشابوری**

گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران.

*نویسنده مسئول*

**چکیده**

مدیریت موجودی فروشنده، یکی از استراتژی‌های محبوب برای مدیریت سیستم کنترل موجودی می‌باشد که در این استراتژی، فروشنده، مسئولیت کنترل و تکمیل موجودی خرده‌فروشان را بر عهده می‌گیرد. در این مقاله، یک مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی برای یک مسئله زنجیره تأمین با فروشندگان و خرده‌فروشان متعدد، موردبررسی قرارگرفته است که تابه‌حال در بررسی‌های انجام‌گرفته در زمینه مدیریت موجودی فروشنده، حالت چند فروشنده در نظر گرفته‌شده است. تقاضای فازی به‌صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای فرموله شده است و روش غیرفازی‌سازی مرکزی برای غیرفازی کردن توابع خروجی فازی در تمام محاسبات به کار گرفته‌شده است. هر فروشنده، با دو محدودیت تعداد سفارش‌ها و بودجه در دسترس مواجه است و کمینه کردن کل هزینه موجودی و بهینه‌سازی فضای انبار، دو هدف مدل هستند. ازآنجایی‌که مدل پیشنهادی به‌صورت یک مسئله دوهدفه برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح فرموله‌شده است، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب با توجه به تطابق آن با مدل برای یافتن جواب‌های جبهه پارتو توسعه داده‌شده است. به‌منظور بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک، از روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر استفاده‌شده است و مقادیر پارامترهای اندازه جمعیت، تعداد تکرارها، احتمال تقاطع و احتمال جهش تعیین می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی**: مدیریت موجودی فروشنده، مقدار سفارش اقتصادی، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، تنظیم پارامتر، روش تاگوچی.

*دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۷*

## ۱- مقدمه

یکی از رایج‌ترین مفاهیم موردبررسی در تحقیقات اخیر، زنجیره تأمین می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در یکپارچه‌سازی مدل‌های موجودی، مورداستفاده قرارگرفته است. زنجیره تأمین شبکه‌ای است که بین سازمان‌های مختلف و متنوع مانند تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان ایجادشده و نقش مهمی را برای ایجاد یک محصول یا خدمات سریع از تأمین‌کننده به مشتری ایفا می‌نماید. این شرکت‌ها برای دستیابی به سه هدف اصلی باهم همکاری می‌کنند: (۱) دریافت مواد خام (۲) تولید محصولات نهایی با استفاده از این مواد خام و (۳) تحویل کالاهای نهایی به خرده‌فروشان (موسی زاده و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل استفاده از مدیریت موجودی در محیط‌های زنجیره تأمین، سیستم مدیریت با هزینه پایین‌تری

* E-mail: mahdi_108108@yahoo.com

انجام می‌شود و شرکت‌ها سعی می‌کنند بهینه‌ترین سیستم مدیریت کیفیت را داشته باشند که هدف اصلی سیستم مدیریت کیفیت، برآوردن الزامات سطح خدمات است (ربانی و همکاران، ۲۰۱۵، فرخی‌اصل و همکاران، ۲۰۱۵، پوزش و همکاران، ۲۰۱٤). با مدیریت موجودی فروشنده[1]، فروشندگان برای تمامی تصمیمات، در رابطه با مدیریت موجودی مشتری مسئول می‌باشند. از بین مدل‌های مختلفی که درزمینه تولید و کنترل موجودی توسط محققان پیشنهادشده است، مدل مقدار سفارش اقتصادی[2] که توسط هریس[3] پیشنهاد شد (ترسینه[4]، ۱۹۹۳)، به علت سادگی و سهولت استفاده از آن، در بسیاری از کاربردهای عملی به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرارگرفته است.

کاهش تغییرپذیری تقاضا با استفاده از اعداد فازی و در نظر گرفتن حالت چند فروشنده برای یک زنجیره تأمین جهت نزدیک کردن مسئله به دنیای واقعی با هدف کمینه کردن کل هزینه موجودی و بهینه‌سازی فضای انبار و حل مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب[5]، نوآوری اصلی این مقاله می‌باشد. ساختار بقیه مقاله به این شرح است: در بخش ۲، یک مرور کلی از کارهای قبلی درزمینه مدیریت موجودی فروشنده ارائه می‌گردد. در بخش ۳، یک مدل ریاضی همراه با نمادها و فرضیات مسئله مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی ذوزنقه‌ای[6] برای فروشنده‌های متعدد ارائه می‌گردد. در فصل ٤، یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب برای حل مسئله پیشنهاد می‌شود. یک مطالعه موردی در بخش ۵ با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب حل می‌گردد و سپس با استفاده از روش تاگوچی، در بخش ٦ تنظیم پارامتر می‌گردد. درنهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی در بخش ۷ آورده شده است.

## ۲- مرور ادبیات

چارچوب اولیه مدیریت موجودی فروشنده، برای اولین بار توسط مگی[7] در سال ۱۹۵۸ به‌عنوان رویکردی نوین در یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین معرفی شد (مگی، ۱۹۵۸). در این زمینه، وی این پرسش را مطرح نمود که چه کسی باید مسئولیت کنترل موجودی را بر عهده بگیرد؟. مدیریت موجودی فروشنده، توسط بسیاری از صنایع پذیرفته شد؛ یک نمونه موفقیت‌آمیز از اجرای این رویکرد، همکاری بین شرکت‌های پروکتر و گمبل[8] (P&G) به‌عنوان تأمین‌کننده و وال‌مارت[9] به‌عنوان توزیع‌کننده می‌باشد. شرکت باریلا[10] نیز مدیریت موجودی فروشنده را در سال ۱۹۸۸ پذیرفت و منجر به کاهش سطح موجودی‌های خرده‌فروشانش تا نزدیک به ۵۰٪ شد و در سال ۱۹۹۰ به بزرگ‌ترین تولیدکننده پاستا در جهان تبدیل شد (واللر[11] و همکاران، ۱۹۹۹، یو[12] و همکاران، ۲۰۱۲).

بسیاری از محققان ازجمله ناچیاپپان[13] و جواهر[14] (۲۰۰۷)، گوپتا[15] و همکاران (۲۰۰۹)، یانگ[16] و همکاران (۲۰۱۲)، صادقی و همکاران (۲۰۱۱) ، و پسندیده و همکاران (۲۰۱۱) فرا ابتکاری‌هایی را برای حل برخی مسائل برنامه‌ریزی

[1] VMI: Vendor Managed Inventory
[2] EOQ: Economic Order Quantity
[3] Harris
[4] Tersine
[5] (NSGA-II): Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm
[6] TrFN: Trapezoidal Fuzzy Number
[7] Magee
[8] Procter & Gambel
[9] Wal-Mart
[10] Pasta marker, Barilla
[11] Waller
[12] Yu
[13] Nachiappan
[14] Jawaher
[15] Gupta
[16] Yang

غیرخطی عدد صحیح[1] که نمی‌توانند توسط روش‌های دقیق در یک‌زمان قابل‌قبول حل شوند، توسعه دادند. صادقی و همکاران (۲۰۱۱) اولین کسانی بودند که مدل مدیریت موجودی فروشنده را با توجه به تعداد تکمیل موجودی که در آن خرده‌فروشان توسط فروشنده تکمیل موجودی می‌شوند، توسعه دادند. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک[2] همراه با تنظیم پارامتر برای حل مسئله با استفاده از روش سطح پاسخ[3] ارائه دادند. پسندیده و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را که به کمک مدیریت موجودی فروشنده یکپارچه‌شده بود، برای یک زنجیره تأمین دولایه‌ای متشکل از یک فروشنده و یک خرده‌فروش و چند محصولی ارائه دادند و نیز از یک الگوریتم ژنتیک برای محاسبه مقدار بهینه سفارش و بیشینه تعداد سفارش‌ها استفاده کردند. پس‌ازآن، کاردناس‌بارون[4] و همکاران (۲۰۱۲) مدل پسندیده (پسندیده و همکاران، ۲۰۱۱) را با افزودن یک محدودیت، که سطح سفارش عقب‌افتاده نمی‌تواند بیش از مقدار سفارش باشد، بهبود دادند و به کمک یک الگوریتم ابتکاری، مسئله را حل کردند (کاردناس‌بارون و همکاران، ۲۰۱۲). حسینی‌راد و همکاران (۲۰۱۴) بر روی موضوعی با عنوان بهینه‌سازی یک سیستم مدیریت موجودی فروشنده یکپارچه برای زنجیره تأمین تک فروشنده و دو خریدار با تعیین عامل وزن دهی برای هزینه سفارش دهی فروشنده، کارکردند. آنها، مدل‌های ریاضی برای ادغام مدیریت موجودی فروشنده و مدیریت موجودی خرده‌فروش[5] و الگوریتم‌های حل ارائه‌شده برای تعیین مقدار انباشته ارسالی و هزینه‌های کل زنجیره را توسعه دادند. سپس تأثیر پارامترهای کلیدی بر روی مقدار انباشته ارسالی در هر دو سیاست مدیریت موجودی را مطالعه نمودند. علاوه بر آن، صادقی و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی برای زنجیره تأمین تک فروشنده و چند خریدار تحت سیاست موجودی امانی[6]را ارائه دادند. هدف آن‌ها یافتن مقادیر بهینه سفارش دهی برای خرده‌فروشان بود طوری که کل هزینه موجودی و حمل‌ونقل کمینه گردد و یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[7] را برای یافتن جواب به کار گرفتند. نیاکان[8] و رحیمی[9] (۲۰۱۵) یک مسئله مسیریابی موجودی[10] برای توزیع دارو در مراکز بهداشتی و درمانی ارائه دادند. آن‌ها از یک رویکرد فازی برای حل مدل ریاضی با اهداف چندگانه که شامل کمینه‌سازی کل هزینه‌های توزیع و تشعشعات گازهای گلخانه‌ای و بیشینه‌سازی رضایت مشتری بود استفاده کردند. همچنین کردئو[11] و همکاران (۲۰۱۵) یک ابتکار سه مرحله‌ای برای مسئله مسیریابی موجودی با چند محصول ارائه دادند که طرح‌های تکمیل موجودی و مسیرهای وسیله نقلیه را به ترتیب در دو مرحله اول تعیین کرده و جواب بهتر را با کمک یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح با همراه داشتن آن تصمیمات در مرحله سوم پیدا می‌کند. میرزایی[12] و سیفی (۲۰۱۵) نیز یک ابتکاری بر اساس شبیه‌سازی تبرید[13] و جستجوی ممنوعه[14] برای مسئله مسیریابی موجودی کالاهای فاسدشدنی با در نظر گرفتن هزینه فروش ازدست‌رفته به‌عنوان یک تابع غیرخطی توسعه دادند. روزبه نیا و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل مقدار سفارش اقتصادی چند آیتمی با کمبود برای یک زنجیره تأمین تک تأمین‌کننده–تک خریدار تحت سیاست مدیریت موجودی فروشنده سبز ارائه کردند و یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک و رقابت استعماری[15] را برای حل مدل توسعه دادند. متین[16] و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل مدیریت موجودی فروشنده تحت سیاست

[1] INLP: Integer Non-Linear Programming
[2] GA: Genetic Algorithm
[3] RSM: Response Surface Programming
[4] Cárdenas-Barrón
[5] RMI: Retailer Managed Inventory
[6] CS: Consignment Stock
[7] PSO: Particle Swarm Optimization
[8] Niakan
[9] Rahimi
[10] IRP: Inventory Routing Problem
[11] Cordeau
[12] Mirzaei
[13] SA: Simulated Annealing
[14] TS: Tabu Search
[15] HGA: Hybrid Genetic and Imperialist competitive Algorithm
[16] Mateen

موجودی دوره‌ای برای سیستمی با یک فروشنده و چندین خرده‌فروش ارائه دادند؛ فروشنده در مدل پیشنهادی آن‌ها تمامی خرده‌فروشان را در یک چرخه تکمیل موجودی مشابه، تأمین می‌کند.

پارک[1] و همکاران (۲۰۱۶) یک الگوریتم ژنتیک برای مسئله مسیریابی مدیریت موجودی فروشنده با فروش ازدست‌رفته[2] تحت استراتژی مدیریت موجودی فروشنده در یک زنجیره تأمین دولایه‌ای متشکل از یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش پیشنهاد دادند که با تعیین زمان‌ها و مقادیر تکمیل موجودی بهینه و مسیرهای وسایل نقلیه، سود کل را در زنجیره تأمین بیشینه نمود. اکبری‌کاسگری[3] و همکاران (۲۰۱۶) از استراتژی مدیریت موجودی فروشنده برای مدیریت موجودی محصول فاسدشدنی در یک زنجیره تأمین دوسطحی با یک فروشنده واحد و خرده‌فروشان چندگانه بهره گرفتند و به علت احتمال عدم فروش محصولات پس از زمان بحرانی، سیستم مدیریت، از تخفیف برای تحریک تقاضا استفاده کرده است. همچنین آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی که به‌منظور کمینه کردن کل هزینه زنجیره تأمین ازجمله هزینه ثابت سفارش دهی، نگهداری، تخفیف و خرابی فرموله شده است، استفاده نمودند. ورما[4] و چاترجی[5] (۲۰۱۷) یک مدل مدیریت موجودی فروشنده برای زنجیره تأمین دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده واحد و خرده‌فروشان چندگانه ارائه دادند. هدف آن‌ها یافتن تعداد و مقادیر بهینه تکمیل موجودی هر خرده‌فروش بود به‌طوری‌که کل هزینه سیستم کمینه گردد و همچنین از یک ابتکاری برای حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با عدد صحیح با استفاده از نظریه نسبت چرخه استفاده کردند. هان[6] و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل تصمیم‌گیری سه سطحی برای مسئله برنامه‌ریزی مدیریت موجودی فروشنده غیرمتمرکز در یک شبکه زنجیره تأمین سه مرحله‌ای شامل یک فروشنده، چندین 3PL عنوان توزیع‌کنندگان و چندین خریدار ارائه دادند و سپس برای حل مدل، از یک الگوریتم شمارش رأس[7] استفاده کردند. ربانی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل مقدار سفارش اقتصادی با کمبود، به‌صورت سفارش‌های عقب‌افتاده را تحت سیاست مدیریت موجودی فروشنده به‌منظور کاربردی‌تر کردن مدل، بررسی کردند و دو الگوریتم فرا ابتکاری شبیه‌سازی تبرید و جستجوی ممنوعه را برای یافتن جواب‌های بهینه به کار گرفتند.

با توجه به جدول ۱، که خلاصه‌ای از برخی آثار پژوهشی مربوطه را در حوزه مسائل مدیریت موجودی فروشنده ارائه می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که تمامی کارهایی که تاکنون در حوزه مسائل مدیریت موجودی فروشنده صورت گرفته، حالت یک فروشنده در نظر گرفته‌شده است و مسائل مدیریت موجودی فروشنده با فروشندگان متعدد و تقاضای فازی لحاظ نشده است.





[1] Park
[2] VMIRPL: Vendor-Managed Inventory Problem with Lost Sale
[3] Akbari Kaasgari
[4] Verma
[5] Chatterjee
[6] Han
[۷] Vertex enumeration algorithm

**جدول ۱- خلاصه‌ای از برخی آثار پژوهشی مربوطه در حوزه مسائل مدیریت موجودی فروشنده.**

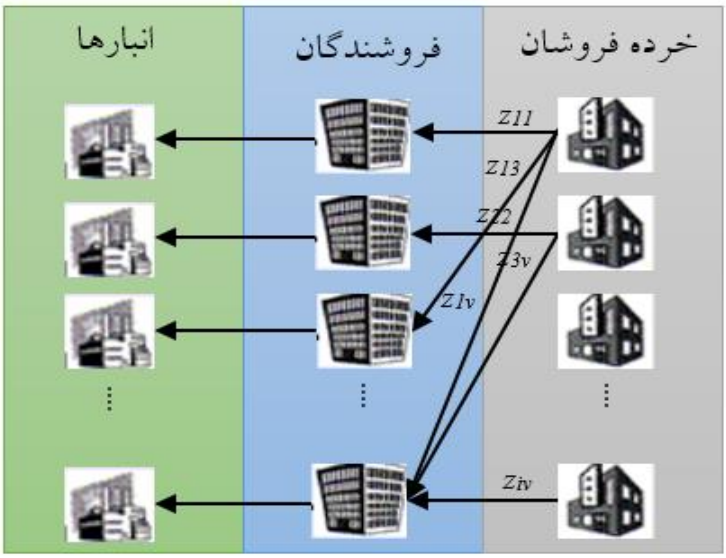
| سال | مطالعه | فروشنده | خرده‌فروش | تقاضا | روش حل | تنظیم پارامتر | سیاست | محدودیت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۰۰۷ | ناچیاپیان و جواهر | تک | چند | – | الگوریتم ژنتیک | – | مقدار سفارش اقتصادی | فضای ذخیره‌سازی، مقادیر فروش |
| ۲۰۰۹ | گوپتا و همکاران | تک | تک | احتمالی | الگوریتم ژنتیک کد شده واقعی | – | – | مقادیر تکمیل موجودی |
| ۲۰۱۱ | صادقی و همکاران | تک | تک | – | الگوریتم ژنتیک | روش سطح پاسخ | مقدار سفارش اقتصادی | فضای ذخیره‌سازی، تعداد سفارش‌ها، بودجه و موجودی در دسترس |
| ۲۰۱۱ | پسندیده و همکاران | تک | تک | – | الگوریتم ژنتیک | – | مقدار سفارش اقتصادی | فضای ذخیره‌سازی، تعداد سفارش‌ها |
| ۲۰۱۲ | یانگ و همکاران | تک | چند | – | الگوریتم ژنتیک | – | – | – |
| ۲۰۱۲ | کاردناس‌بارون و همکاران | تک | تک | – | الگوریتم ژنتیک ابتکاری | – | مقدار سفارش اقتصادی | فضای ذخیره‌سازی، تعداد سفارش‌ها |
| ۲۰۱٤ | حسینی‌راد و همکاران | تک | چند | – | جواب بهینه | – | (r,Q)مرور دوره‌ای | – |
| ۲۰۱٤ | صادقی و همکاران | تک | چند | فازی | الگوریتم ژنتیک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات | روش تاگوچی | مقدار تولید اقتصادی [1] | فضای ذخیره‌سازی، تعداد تکمیل موجودی‌ها، موجودی در دسترس |
| ۲۰۱۵ | نیاکان و رحیمی | تک | چند | فازی | جواب بهینه | – | نامعین | ظرفیت تحویلی |
| ۲۰۱۵ | کردئو و همکاران | تک | چند | – | ابتکاری | – | بیشترین سطح | – |
| ۲۰۱۵ | میرزایی و سیفی | تک | چند | – | الگوریتم شبیه‌سازی تبرید الگوریتم جستجوی ممنوعه | – | نامعین | فضای ذخیره‌سازی |
| ۲۰۱۵ | روزبه نیا و همکاران | تک | تک | – | الگوریتم ترکیبی ژنتیک و رقابت استعماری | – | مقدار سفارش اقتصادی | ظرفیت انبار و تحویلی، مقدار سفارش دهی، تعداد پالت‌ها |
| ۲۰۱۵ | متین و همکاران | تک | چند | تصادفی | شبیه‌سازی | – | نامعین | مقدار تحویلی |
| ۲۰۱٦ | پارک و همکاران | تک | چند | – | جواب بهینه الگوریتم ژنتیک | – | نامعین | فضای ذخیره‌سازی، مقادیر تکمیل موجودی |
| ۲۰۱٦ | اکبری‌کاسگری و همکاران | تک | چند | غیرقطعی | الگوریتم ژنتیک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات | روش تاگوچی | نامعین | بودجه و فضای انبار |

[1] EPQ: Economic Production Inventory

| سال | مطالعه | فروشنده | خرده‌فروش | تقاضا | روش حل | تنظیم پارامتر | سیاست | محدودیت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۰۱۷ | ورما و چاترجی | تک | چند | – | ابتکاری | – | نسبت عدد صحیح | – |
| ۲۰۱۷ | هان و همکاران | تک | چند | – | الگوریتم شمارش رأس | – | نامعین | – |
| ۲۰۱۸ | ربانی و همکاران | تک | تک | قازی | الگوریتم شبیه‌سازی تبرید<br>الگوریتم جستجوی ممنوعه | – | مقدار سفارش اقتصادی | فضای ذخیره‌سازی، دوره زمانی و بودجه در دسترس |
| ۲۰۱۸ | مدل پیشنهادی | چند | چند | فازی | الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب | روش تاگوچی | مقدار سفارش اقتصادی | تعداد سفارش‌ها، بودجه در دسترس |

## ۳- شرح مدل

در این بخش، یک مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی ذوزنقه‌ای برای یک مسئله زنجیره تأمین متشکل از چند فروشنده، چند خرده‌فروش و چند انبار ارائه می‌شود به‌طوری‌که کل هزینه موجودی کمینه و فضای انبار بهینه گردد و محدودیت تعداد سفارش‌ها و بودجه در دسترس برای هر فروشنده تضمین شود. شکل ۱، یک زنجیره تأمین متشکل از $r$ خرده‌فروش، $V$ فروشنده و $W$ انبار را نشان می‌دهد.




**شکل ۱- زنجیره تأمین متشکل از r خرده‌فروش، V فروشنده و W انبار.**

### ۳-۱ مفروضات مسئله

- فروشندگان مسئولیت کامل هزینه سفارش دهی را می‌پذیرند و ازاین‌رو خرده‌فروشان تنها با هزینه نگهداری مواجه هستند.
- هر خرده‌فروش تنها می‌تواند از یک فروشنده تکمیل موجودی کند.
- هر فروشنده دارای انبار منحصربه‌فرد برای تکمیل موجودی خود می‌باشد.
- بر اساس سیاست مقدار سفارش اقتصادی، فرض این است که تکمیل موجودی برای فروشندگان و خرده‌فروشان لحظه‌ای است و نقطه سفارش مجدد صفر است $(R = 0)$ (صادقی و نیاکی، ۲۰۱۵).
- در صورت تقاضای مازاد، سیستم آن را از دست خواهد داد و هیچ جابه‌جایی مازادی را اجازه نمی‌دهد و همچنین کمبود مجاز نیست.
- همچنین فرض شده است که خرده‌فروشان، تمامی محصولات ارسالی از فروشنده را می‌فروشند، ازاین‌رو $\widetilde{D}_v = \sum_{i=1}^{r} \widetilde{D}_i z_{iv}\ ;\ \forall v$ که $\widetilde{D}_v$ تقاضای فازی سالانه فروشنده $v$ با عدد فازی ذوزنقه‌ای نامیده می‌شود.
- درنهایت، دو محدودیت نیز برای هر فروشنده، یعنی تعداد سفارش‌ها و بودجه در دسترس در نظر گرفته‌شده است.

### ۳-۲ نمادهای مسئله

نمادهای استفاده‌شده در این مدل به شرح زیر است:

**اندیس‌ها و مجموعه‌ها**

- $i$ شاخص استفاده‌شده برای یک خرده‌فروش؛ $i = 1, 2, \cdots, r.$
- $v$ شاخص استفاده‌شده برای یک فروشنده؛ $v = 1, 2, \cdots, V.$
- $w$ شاخص استفاده‌شده برای یک انبار؛ $w = 1, 2, \cdots, W.$

**پارامترها**

- $r$ تعداد خرده‌فروشان.
- $V$ تعداد فروشنده‌ها.
- $W$ تعداد انبارها.
- $\widetilde{D}_i$ کل تقاضای فازی سالانه برای خرده‌فروش $i$.
- $A_{iv}$ هزینه سفارش دهی خرده‌فروش $i$ از فروشنده $v$.
- $A_v$ هزینه سفارش دهی برای فروشنده $v$.
- $A_w$ هزینه سفارش دهی از انبار $w$.
- $h_i$ هزینه نگهداری برای خرده‌فروش $i$.
- $h_v$ هزینه نگهداری فروشنده $v$.
- $h_w$ هزینه نگهداری انبار $w$.
- $T_i$ زمان چرخه برای خرده‌فروش $i$.
- $T_v$ زمان چرخه برای فروشنده $v$.
- $T_w$ زمان چرخه برای انبار $w$.
- $T_R$ زمان چرخه برای خرده‌فروشان.
- $T_v$ زمان چرخه برای فروشندگان.
- $T_W$ زمان چرخه برای انبارها.
- $N_v$ بیشینه تعداد سفارش‌ها برای فروشنده $v$.
- $C_v$ بودجه در دسترس برای فروشنده $v$.
- $f$ فضای موردنیاز ذخیره‌سازی یک واحد از محصول.
- $c$ واحد قیمت خرید محصول.

**متغیرها**

- $n_{iv}$ تعداد تکمیل موجودی خرده‌فروش $i$ توسط فروشنده $v$.
- $n_v$ تعداد تکمیل موجودی خرده‌فروشان توسط فروشنده $v$: $n_v = \sum_{i=1}^{r} n_{iv} z_{iv}$ ; $\forall v$
- $m_v$ تعداد تکمیل موجودی فروشنده $v$ از انبار.
- $z_{iv} = 1$ اگر خرده‌فروش $i$، موجودی خود را از فروشنده $v$ تأمین کند؛ در غیر این صورت، صفر است.
- $\widetilde{D}_v$ مجموع تقاضای فازی سالانه برای فروشنده $v$ و انبار $w$.
- $q_{iv}$ مقدار سفارشی که خرده‌فروش $i$ از فروشنده $v$ تأمین می‌کند.
- $q_v$ مقدار سفارش برای تمامی خرده‌فروشانی که از فروشنده $v$ تکمیل موجودی می‌کنند.
- $Q_v$ کل مقدار سفارش سالانه فروشنده $v$.
- $Q_w$ کل مقدار سفارش سالانه از انبار $w$.
- $TC$ حداقل کل هزینه در سیستم مدیریت موجودی فروشنده.

- $F$ کل فضای انبارها.

### ۳-۳ مدل ریاضی

مشابه کار دارویش و اداه (دارویش و اداه، ۲۰۱۰)، فرض بر این است که خرده‌فروشان در فواصل زمانی یکسان، موجودی خود را تکمیل می‌کنند که T_i=T_R ; i=1,2,⋯,r است (صادقی و نیاکی، ۲۰۱۵).

$$\frac{\sum_{v=1}^{V} q_{iv} z_{iv}}{\widetilde{D}_i} = \frac{\sum_{v=1}^{V} q_{1v}\, z_{1v}}{\widetilde{D}_1} \Rightarrow \sum_{v=1}^{V} q_{iv} z_{iv} = \frac{\sum_{v=1}^{V} q_{1v} z_{1v}\, \widetilde{D}_i}{\widetilde{D}_1};\ i = 2, 3, \cdots, \quad (۱)$$

هر فروشنده انباشته‌ای به‌اندازه $q_v = \sum_{i=1}^{r} q_{iv} z_{iv}$ در هر چرخه به طول TR تحویل می‌دهد. به‌علاوه، کل مقدار سفارش فروشنده v را در هر Tv، می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$Q_v = n_v q_v = \left(\sum_{i=1}^{r} n_{iv} z_{iv}\right) q_v;\ \forall v\,. \quad (۲)$$

که در آن nv، تعداد تکمیل موجودی خرده‌فروشان توسط فروشنده v است.

به‌طور مشابه، معادله (۳) کل مقدار سفارش از انبار w توسط فروشندگان را در هر TW، نشان می‌دهد:

$$Q_w = m_v Q_v;\ \forall w. \quad (۳)$$

که در آن $m_v$، تعداد تکمیل موجودی فروشنده $v$ توسط انبار نامیده می‌شود.

بر اساس فرضیات بیان‌شده، یک مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده در اینجا توسعه‌یافته است. هدف (۱) کمینه‌سازی کل هزینه موجودی و (۲) بهینه‌سازی فضای انبار می‌باشد.

کل هزینه موجودی زنجیره در معادله (٤) داده‌شده است:

$$TC_{VMI} = THCR + TOCV + THCV + TOCW + THCW. \quad (٤)$$

$R$ هزینه نگهداری خرده‌فروشان است; TOCV و THCV به ترتیب هزینه‌های سفارش دهی و نگهداری فروشندگان هستند. به‌صورت مشابه، TOCW و THCW هزینه‌های سفارش دهی و نگهداری انبارها نامیده می‌شوند. علاوه‌براین، معادله (۵) کل فضای انبار موردنیاز را به‌عنوان هدف دوم نشان می‌دهد:

$$F = \sum_{v=1}^{V} f Q_v\,. \quad (۵)$$

که در آن $f$، فضای موردنیاز ذخیره‌سازی یک واحد از محصول می‌باشد.

از تابع هدف اول، کل هزینه نگهداری خرده‌فروشان در واحد زمان برابر است با:

$$THCR = \sum_{i=1}^{r} \frac{h_i \sum_{v=1}^{V} q_{iv} z_{iv}}{2}. \quad (٦)$$

علاوه‌براین، کل هزینه سفارش دهی برای تمامی فروشندگان در واحد زمان که متشکل از هزینه‌های سفارش دهی فروشندگان و خرده‌فروشان است را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$TOCV = \sum_{v=1}^{V} \left(m_v A_v + m_v n_v \sum_{i=1}^{r} A_{iv} z_{iv}\right) \frac{\widetilde{D}_v}{Q_w}. \quad (۷)$$

TOCV برای به دست آوردن کل هزینه سالانه در $\sum_{v=1}^{V} \widetilde{D}_v / Q_w$ ضرب شده‌است.

ازآنجایی‌که، موجودی فروشنده توسط یک دسته از محصولات تحویل داده‌شده به خرده‌فروشان کاهش می‌یابد، بر اساس (یائو[1] و همکاران، ۲۰۰۵) متوسط موجودی از طریق زیر به دست می‌آید:

$$I_v = \frac{\left((Q_v - q_v) + (Q_v - 2q_v) + (Q_v - 3q_v) + \cdots + (Q_v - (n_v - 1)q_v) + 0\right)}{n_v};\ \forall v. \quad (۸)$$

$$I_v = Q_v - \left(\frac{q_v(n_v - 1)}{2}\right);\ \forall v. \quad (۹)$$

موجودی فروشنده، زمانی که یک محموله از محصولات $q_v$، به خرده‌فروشان تحویل داده می‌شود به‌اندازه $(Q_v - q_v)$ کاهش می‌یابد. با جایگذاری معادله (۲) در معادله (۹)، متوسط موجودی هر فروشنده برابر می‌شود با:

$$I_v = n_v q_v - \left(\frac{q_v(n_v - 1)}{2}\right);\ \forall v. \quad (۱۰)$$

درنتیجه، کل هزینه نگهداری فروشندگان در واحد زمان برابر است:

$$THCV = \sum_{v=1}^{V} h_v I_v. \quad (۱۱)$$

علاوه بر این، کل هزینه سفارش دهی انبارها در واحد زمان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$TOCW = \sum_{w=1}^{W} \frac{A_w \widetilde{D}_v}{Q_w}. \quad (۱۲)$$

بنابراین، کل هزینه نگهداری انبارها در واحد زمان می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$THCW = \sum_{w=1}^{W} \frac{h_w \sum_{v=1}^{V} Q_v\,(m_v + 1)}{2}. \quad (۱۳)$$

هر فروشنده با دو محدودیت مواجه است: (۱) تعداد سفارش‌ها برای هر فروشنده که باید از یک مقدار $N$ برای هر فروشنده کمتر باشد و نامعادله (۱٤) را نتیجه می‌دهد و (۲) بیشینه بودجه در دسترس برای هر فروشنده که محدود به $C$ است و نامعادله (۱۵) را نتیجه می‌دهد:

$$\sum_{i=1}^{r} \frac{\widetilde{D}_i}{Q_v} \le N_v;\ \ \forall v. \quad (۱٤)$$

$$cQ_v \le C_v;\ \ \forall v. \quad (۱۵)$$

که $c$ واحد قیمت خرید محصول است.

درنهایت، باهدف کمینه کردن کل هزینه سیستم مدیریت موجودی فروشنده و بهینه‌سازی فضای انبار و بر اساس مشتقات بالا، مدل پیشنهادی مسئله به این صورت ارائه می‌شود:

$$Min\ TC = \sum_{v=1}^{V}\left(m_v A_v + m_v n_v \sum_{i=1}^{r} A_{iv} z_{iv}\right)\frac{\widetilde{D}_v}{Q_w} + \sum_{v=1}^{V} h_v\left(n_v q_v - \left(\frac{q_v(n_v - 1)}{2}\right)\right) + \sum_{i=1}^{r}\frac{h_i \sum_{v=1}^{V} q_{iv} z_{iv}}{2} + \sum_{w=1}^{W}\frac{A_w \widetilde{D}_v}{Q_w} + \sum_{w=1}^{W}\frac{h_w \sum_{v=1}^{V} Q_v (m_v + 1)}{2}. \quad (۱٦)$$

[1] Yao

$$Min\ F = \sum_{v=1}^{V} f Q_v \quad (۱۷)$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^{r} \frac{\tilde{D}_i z_{iv}}{Q_v} \le N_v;\ \forall v \quad (۱۸)$$

$$cQ_v \le C_v;\ \forall \quad (۱۹)$$

$$\sum_{v=1}^{V} z_{iv} = 1;\ \forall i \quad (۲۰)$$

$$m_v Q_v \ge n_{iv} q_v;\ \forall v \quad (۲۱)$$

$$q_{iv} \le z_{iv} \cdot M \quad (۲۲)$$

$$n_{iv}, m_v, q_{iv} \ge 0 \quad (۲۳)$$

$$z_{iv} \in \{0,1\}. \quad (۲٤)$$

تابع هدف اول ($TC$) که در رابطه (۱٦) ارائه‌شده است، کل هزینه موجودی زنجیره (هزینه نگهداری خرده‌فروشان، هزینه‌های سفارش دهی و نگهداری فروشندگان و هزینه‌های سفارش دهی و نگهداری انبارها) را کمینه می‌کند و تابع هدف دوم ($F$) به‌منظور بهینه‌سازی فضای انبار در رابطه (۱۷) نشان داده‌شده است. محدودیت (۱۸)، تعداد سفارش‌ها برای هر فروشنده را نشان می‌دهد که باید از یک مقدار $N$ برای هر فروشنده کمتر باشد و محدودیت (۱۹)، بیانگر بیشینه بودجه در دسترس برای هر فروشنده می‌باشد که محدود به $C$ است. محدودیت (۲۰) به این موضوع که هر خرده‌فروش تنها می‌تواند از یک فروشنده، تکمیل موجودی کند اشاره می‌نماید و محدودیت (۲۱)، نشان می‌دهد که در هر دوره میزان سفارش دهی، هر خرده‌فروش از میزان سفارش دهی فروشنده‌ای که از آن تکمیل موجودی می‌کند، نباید بیشتر باشد. محدودیت (۲۲)، نشان می‌دهد که هر خرده‌فروش در صورت انتخاب فروشنده مرتبط می‌تواند سفارش را دریافت کند. محدودیت (۲۳) بیانگر این است که متغیرهای تصمیم مسئله $q_{iv}$؛ مقدار سفارش خرده‌فروش $i$ از فروشنده $v$، $n_{iv}$؛ تعداد تکمیل موجودی خرده‌فروش $i$ توسط فروشنده $v$ و $m_v$؛ تعداد تکمیل موجودی فروشنده $v$ از انبار، اعداد صحیح غیر منفی هستند و محدودیت (۲٤) انتخاب یا عدم انتخاب فروشنده $v$ توسط خرده‌فروش $i$ را نشان می‌دهد که با یک متغیر صفر و یک ($z_{iv}$) مدل شده است.

## ۴- پیاده‌سازی مدل

در این بخش، ابتدا یک مثال عددی در ابعاد کوچک و داده‌های تصادفی به‌منظور تعیین مقدار دقیق متغیرهای مسئله برای حل در نرم‌افزار GAMS ارائه می‌شود و در ادامه با افزایش ابعاد مسئله، به دلیل NP-Hard[1] بودن مسئله دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده (صادقی و نیاکی، ۲۰۱۵) و افزایش زمان حل، یک الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه (NSGA-II) برای به دست آوردن جواب، توسعه داده می‌شود. در ادامه با استفاده از روش تاگوچی، مقادیر بهینه پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد الگوریتم ژنتیک بیان می‌گردد.

### ۴-۱ اعتبارسنجی مدل

ابتدا یک مثال عددی با داده‌های تصادفی و در ابعاد کوچک را با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل می‌کنیم. مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی برای یک مسئله زنجیره تأمین سه سطحی متشکل از ۲ فروشنده، ۲ خرده‌فروش و ۲ انبار در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای هر یک از سطوح در جدول‌های ۲، ۳ و ٤ ارائه‌شده‌اند و $\tilde{D}_i;\ i = 1,2$ تقاضای خرده‌فروش $i$ ام را که به‌صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشد، نشان می‌دهد. $D$ در آخرین ستون این جدول،

[1] Non-Deterministic Polynomial-time hardness

تقاضای خرده‌فروش $i$ ام را که از طریق غیر فازی کردن $\widetilde{D}_i$ به روش غیر فازی سازی مرکزی با استفاده از رابطه (۲۵) به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد.

$$D = \frac{a + 2b + 2c + d}{6}. \qquad (۲۵)$$

**جدول ۲- پارامترهای خرده‌فروش برای مثال عددی.**

| پارامتر / خرده‌فروش (r) | $h_i$ | $\widetilde{D}_1$ | $\widetilde{D}_2$ | D |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۰۰۰ | ۱۶۸ | ۱۳۲ | ۱۷۸ |
| ۲ | ۵۰۰ | ۱۷۲ | ۱۴۸ | ۱۴۹ |
| | | ۱۸۳ | ۱۵۰ | |
| | | ۱۹۰ | ۱۶۶ | |

**جدول ۳- پارامترهای فروشنده برای مثال عددی.**

| پارامتر / فروشنده (V) | $h_v$ | $A_v$ | $N_v$ | $C_v$ | $A_{iv}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ۱ | ۲ |
| ۱ | ۱۳ | ۱۰۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۲۰۰ | ۵۰۰ |
| ۲ | ۱۳ | ۳۰۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۵۸ | ۴۸۰ |

$f = \mathbf{7}; c = \mathbf{1}$

**جدول ۴- پارامترهای انبار برای مثال عددی.**

| پارامتر / انبار (W) | $h_w$ | $A_w$ |
|---|---|---|
| ۱ | ۱۰ | ۱۰ |
| ۲ | ۱۰ | ۵ |

مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده برای فروشنده‌های متعدد با استفاده از داده‌های مثال عددی فوق با نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده DICOPT روی یک کامپیوتر با پردازنده intel® Core ™ i7-4500U ۱/۸۰ گیگاهرتز و حافظه RAM ۸ گیگابایت اجرا شد. نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS، در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

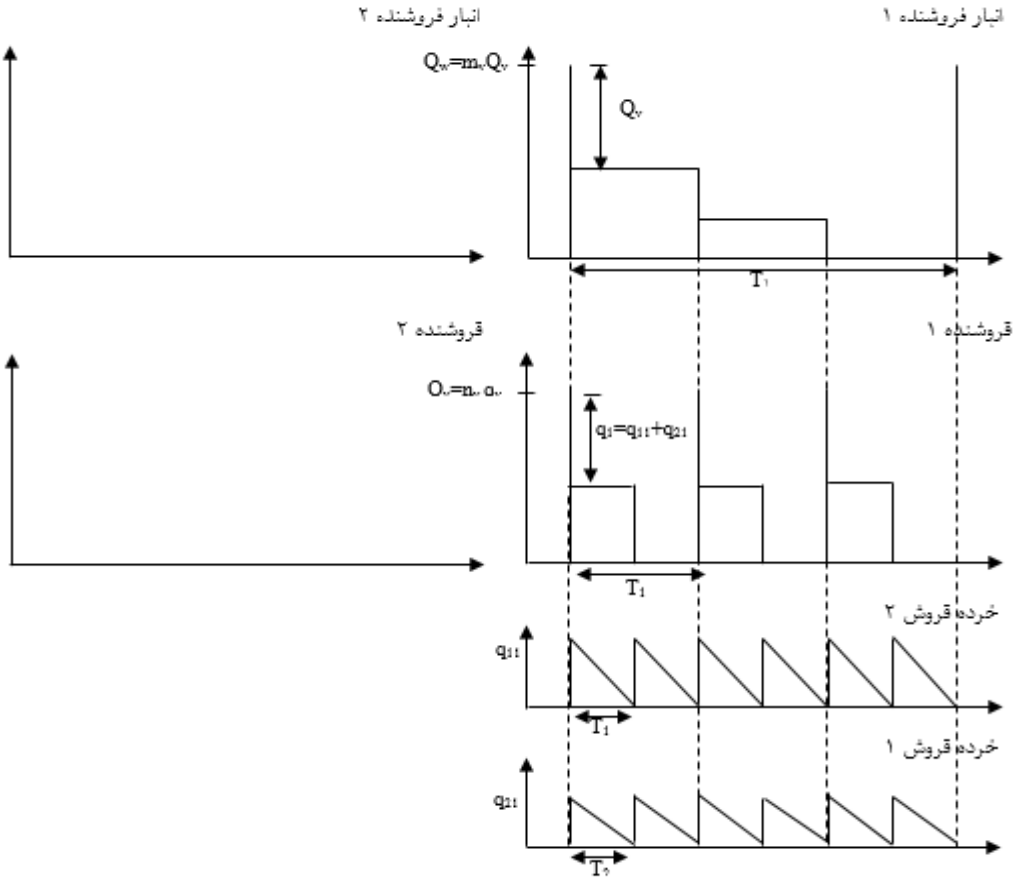
**جدول ۵- نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS.**

| Z | نام متغیر تابع هدف | VMI | نام مدل |
|---|---|---|---|
| ۶۲۲۲۶۳۲۰۱/۲۹۷۷ | مقدار تابع هدف | MINLP | نوع مدل |
| Normal Completion | وضعیت حل‌کننده | DICOPT | نوع حل‌کننده |
| Locally Feasible | وضعیت مدل | مینیمم‌سازی | جهت بهینه‌سازی |
| ۰/۰۴۷ | زمان اجرای حل‌کننده برای رسیدن به جواب (برحسب ثانیه) | | |

**جدول ۶- خروجی حاصل از نرم‌افزار GAMS.**

| خرده‌فروش / فروشنده | $z_{iv}$ | | $q_{iv}$ | | $n_{iv}$ | | $m_v$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۱ | ۲ | |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱۰۰ | ۸۶ | ۱۰ | ۸ | ۱ |
| ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS، برای مسئله دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده با ۲ فروشنده، ۲ خرده‌فروش و ۲ انبار، مشخص شد که هر دو خرده‌فروش از فروشنده اول تکمیل موجودی می‌کنند. شکل ۲، سطوح موجودی را در یک زنجیره تأمین متشکل از ۲ فروشنده، ۲ خرده‌فروش و ۲ انبار نشان می‌دهد.



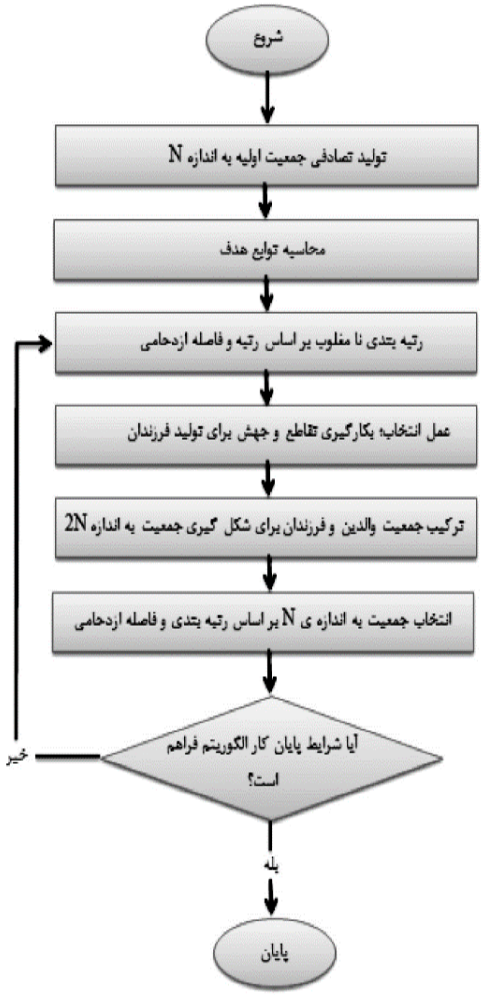

**شکل ۲- سطوح موجودی در یک زنجیره تأمین سه سطحی.**

بعد از اعتبارسنجی مدل و افزایش ابعاد مسئله، به این نتیجه رسیدیم که نرم‌افزار GAMS قادر به حل مسائل مدیریت موجودی فروشنده با ابعاد بزرگ نیست و لازم است از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده کنیم.

### ۲-۴ الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب (NSGA-II)

نظریه پیچیدگی محاسباتی که یک شاخه اصلی در نظریه محاسبات است بر مرتب‌سازی مسائل با توجه به‌سختی ذاتی آن‌ها تمرکز دارد. با توجه به سطوح سختی برای حل مسائل، چهار کلاس وجود دارد: P، NP، NP-complete و NP-hard. گذشته از این، وجود الگوریتم‌های کارآمد برای مسائل NP-hard قابل‌اثبات نیست، چنان‌که بسیاری از مسائل بهینه‌سازی در دنیای واقعی این‌گونه هستند. مطالعات نشان می‌دهند که فرا ابتکاری‌ها می‌توانند برای حل این کلاس از

مسائل استفاده شوند (تالبی[1]، ۲۰۰۹). ازآنجایی‌که مدل مدیریت موجودی فروشنده پیشنهادی به‌صورت یک مسئله دوهدفه برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح فرموله شده است، یک الگوریتم تکاملی چندهدفه[2] به نام الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب در این بخش برای یافتن جبهه پارتو[3] پیشنهاد می‌گردد. شکل ۳ نمایش گرافیکی به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب را در بهینه‌سازی مدل‌های مدیریت موجودی فروشنده نشان می‌دهد.

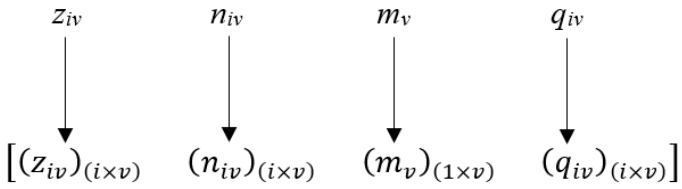



**شکل ۳- فلوچارت الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه.**

با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو، الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه دو یا چند هدف متضاد را بهینه می‌کنند. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب برای اولین بار توسط دب[4] و همکاران (۲۰۰۰) پیشنهاد شد که به‌عنوان یکی از بهترین روش‌ها برای به دست آوردن جبهه‌های پارتو شناخته‌شده است. روش کار الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب به شرح ذیل می‌باشد:

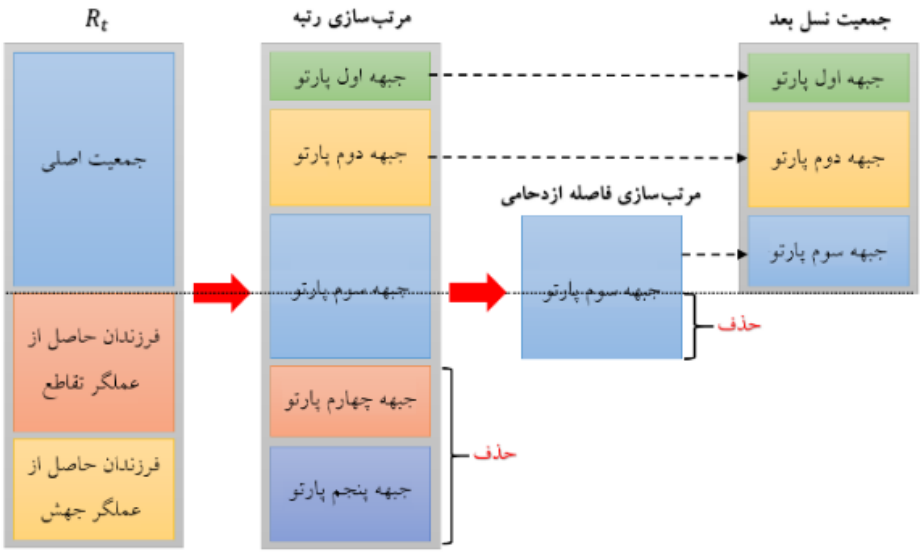
[1] Talbi
[2] MOEA: Multi-Objective Evolutionary Algorithm
[3] Pareto front
[4] Deb

ساختار کروموزوم: در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، ابتدا یک کروموزوم طراحی می‌شود. شکل ٤ نمایشی از ساختار کروموزوم را به‌منظور اجرای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب نشان می‌دهد.




**شکل۴- نمایش کروموزوم.**

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، جمعیت اولیه $P_1$ را به‌طور تصادفی با توجه به‌اندازه جمعیت $N_p$ تولید می‌کند. به هر فرد از جمعیت، یک رتبه و یک فاصله ازدحامی تخصیص داده می‌شود. کروموزوم‌ها در $P_1$ قرار دارند و سپس درون چندین جبهه از جواب‌های نا مغلوب بر اساس شرط‌های غلبه کردن و فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در مرحله بعد، عملگر انتخاب چرخ رولت[1] باعث ایجاد جمعیت فرزندان $O_1$، با توجه به نرخ تقاطع $P_c$ و نرخ جهش $P_m$ می‌شود. سپس، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، $P_1$ و $O_1$ را به شکل (ترکیب دونقطه‌ای)، $R_t$ ادغام و در چندین جبهه نا مغلوب $F_i$، با توجه به رتبه و فاصله ازدحامی مرتب می‌کند. این $F_i$ها، جمعیت بعدی را تشکیل می‌دهند، یعنی $P_{t+1}$، که بهترین $F_i$ها، $P_{t+1}$ را ایجاد می‌کنند. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، $O_{t+1}$ را از $P_{t+1}$ شبیه به $O_t$ ایجاد می‌کند. پس‌ازآن، مراحل فوق برای به دست آوردن بهترین جواب، با توجه یک معیار توقف تکرار می‌شوند. در این پژوهش، از یک عدد ثابت برای متوقف کردن الگوریتم حل که بر اساس روش تنظیم پارامتر تاگوچی به‌دست‌آمده استفاده می‌شود. شکل ۵ نمایش گرافیکی به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب را در بهینه‌سازی مدل‌های مدیریت موجودی فروشنده نشان می‌دهد.




**شکل ۵- نمایش گرافیکی الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

### ۳-۴ تنظیم پارامتر

ازآنجاکه پارامترهای الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه نقش مهمی در کیفیت جواب به‌دست‌آمده ایفا می‌کنند، سه روش برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها وجود دارد: (۱) طرح فاکتوریل کسری، (۲) روش سطح پاسخ و (۳) روش تاگوچی که به عنوانی روشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها به کار می‌روند. طراحی آزمایش‌ها[2] تاگوچی در اوایل دهه ۵۰ میلادی برای بهینه‌سازی

[1] Rolet weel selection
[2] DOE: Design of Experiments

سیستم‌های پیچیده، بر پایه روش‌های آماری ابداع گردید که بر اساس ترکیبات مختلف از برخی عوامل (عوامل نویز N و عوامل قابل‌کنترل S) اجرا می‌گردد. پارامترهای تأثیرگذار در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب عبارت‌اند از: اندازه جمعیت ($N_{pop}$)، تعداد تکرارها برای توقف الگوریتم (Iteration)، نرخ تقاطع و جهش (به ترتیب $P_c$ و $P_m$) که در جدول ۷، سطوح هر یک از پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب نشان داده‌شده است.

**جدول ۷- پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

| متغیر | مقدار | | |
|---|---|---|---|
| | سطح ۱ | سطح ۲ | سطح ۳ |
| $N_{pop}$ | ۶۰ | ۷۵ | ۱۲۰ |
| Iteration | ۶۰۰ | ۷۵۰ | ۹۵۰ |
| $P_c$ | ۰/۶ | ۰/۷۵ | ۰/۸۵ |
| $P_m$ | ۰/۱ | ۰/۱۵ | ۰/۲ |

## ۵- مطالعه موردی

اکنون با ارائه مثالی واقعی، نتایج نهایی مسئله مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی را برای فروشنده‌های متعدد به کمک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب به دست خواهیم آورد. ما در این تحقیق، از داده‌های شرکت طلوع پخش آفتاب به‌منظور تجزیه‌وتحلیل عملکرد زنجیره تأمین استفاده می‌کنیم. این شرکت جهت سهولت امر توزیع، محصولات خود را در دو شهر بهشهر و تبریز به خرده‌فروشی‌ها توزیع می‌نماید. تولیدکنندگان کالا نیز در دو شهر بهشهر و تبریز واقع‌شده‌اند که محصولات تولیدی خود را طبق برنامه‌ریزی انجام‌شده جهت انبارش و توزیع به مغازه‌داران ارسال می‌کنند. داده‌های ورودی برای یک زنجیره تأمین متشکل از ۱۰۰ خرده‌فروش، ۲ فروشنده و ۲ انبار، طبق جداول ۸، ۹ و ۱۰ ارائه‌شده است، که $i$ نشانگر اندیس خرده‌فروش، $h_i$ هزینه نگهداری خرده‌فروش $i$، $A_{iv}$ هزینه سفارش دهی خرده‌فروش $i$ از فروشنده $v$، $\tilde{D}_i;\ i = 1, 2, \cdots, 100$ تقاضای فازی ذوزنقه‌ای خرده‌فروش $i$ ام را نشان می‌دهد و $D$ در آخرین ستون این جدول، غیر فازی شده $\tilde{D}_i$ را به روش غیر فازی سازی مرکزی نشان می‌دهد.

**جدول ۹- داده‌های ورودی مربوط به شرکت طلوع پخش آفتاب-فروشنده.**

| V | $h_v$ | $A_v$ | $N_v$ | $C_v$ |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۳ | ۱۰۰ | ۱۰ | ۵۰ |
| ۲ | ۱۳ | ۳۰۰ | ۱۵ | ۱۰ |

**جدول ۱۰- داده‌های ورودی مربوط به شرکت طلوع پخش آفتاب-انبار.**

| W | $h_w$ | $A_w$ |
|---|---|---|
| ۱ | ۱۰ | ۱۰ |
| ۲ | ۱۰ | ۵ |

نشریه تصمیم گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۲، شماره (۲)، بهمن ۱۳۹۶، صفحه: ۱۴۷-۱۶۸

**جدول ۸- داده‌های ورودی مربوط به شرکت طلوع پخش آفتاب-خرده‌فروش.**

| i | $h_i$ | $A_{iv}$ | | $\tilde{D}_i$ | | | | | D | i | $h_i$ | $A_{iv}$ | | $\tilde{D}_i$ | | | | | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۲ | | | | | | | | | ۱ | ۲ | | | | | | |
| ۱ | ۱۰۰۰ | ۲۰۰ | ۱۵۸ | ۱۶۸ | ۱۷۲ | ۱۸۳ | ۱۹۰ | ۱۷۸ | ۱۰۸۳/۳۳ | ۵۱ | ٤۵۰۰ | ٤۲۵ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۵۰ | ۱۱۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۰۸۳/۳۳ |
| ۲ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ٤۸۰ | ۱۳۲ | ۱٤۸ | ۱۵۰ | ۱۶۶ | ۱٤۹ | ۳۹۵۵ | ۵۲ | ۹٤۲۰ | ۸۵۲ | ۱۰۰۰ | ۳۸۷۰ | ۳۹۵۰ | ۳۹۷۰ | ٤۰۲۰ | ۳۹۵۵ |
| ۳ | ۲۲۰۰ | ۱۰۰ | ۱۶۰ | ۲٤۰ | ۲۵٤ | ۲۶۹ | ۲۸۰ | ۲۶۱ | ۱۶۰۱/۶۷ | ۵۳ | ٤۷۵۰ | ٤۱۰ | ٤۰۰ | ۱٤۶۰ | ۱۵۳۰ | ۱۶۰۰ | ۱۸۹۰ | ۱۶۰۱/۶۷ |
| ٤ | ۳۰۵۰ | ٤۰۰ | ۷۰۰ | ۲۵۰ | ۲۷۵ | ۲۸۰ | ۲۹۲ | ۲۷۵/۳۳ | ۲٤۶۹/۶۷ | ۵٤ | ۶۳۵۰ | ۶۳۰ | ۷۹۰ | ۲۲۹۸ | ۲۳۶۵ | ۲۵۶۰ | ۲۶۷۰ | ۲٤۶۹/۶۷ |
| ۵ | ٤۵۰۰ | ۳۰۰ | ۲۵٤ | ۱۰۵۰ | ۱۲۰۰ | ۱۲۸۰ | ۱۱۳۰ | ٤۳۷۸ | ٤۳۰۱/۳۳ | ۵۵ | ۸۵۲۰ | ۵۲۰ | ۶۰۰ | ٤۲۲۲ | ٤۲۳۶ | ٤۳۶۸ | ٤۳۷۸ | ٤۳۰۱/۳۳ |
| ۶ | ٤۸۰۰ | ۱۱۰ | ۱۱۰ | ۱۰۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱٤۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۲۸۳/۳۳ | ۲۸۲۸/۶۷ | ۵۶ | ۶۳۵۰ | ۷٤۰ | ۷۸۰ | ۲۵۰۰ | ۲۵۳۶ | ۳۰۰۰ | ۳٤۰۰ | ۲۸۲۸/۶۷ |
| ۷ | ۶۰۰۰ | ۱۳۰ | ۱٤۵ | ۳٤۰۰ | ۳۵۰۰ | ۳۶۶۰ | ٤۰۰۰ | ۳۶۲۰ | ۱۶۱ | ۵۷ | ٤۷۵۰ | ۶۲۰ | ٤۰۰ | ۱۳۹ | ۱٤۰ | ۱۷۹ | ۱۸۹ | ۱۶۱ |
| ۸ | ۳۵۰ | ۱٤۰ | ۱۶۲ | ۲۳۰ | ۲۵۳ | ۲۶۶ | ۲۸۸ | ۲۵۹/۳۳ | ۲۷۲/۸۳ | ۵۸ | ۱۲۳۰ | ٤۱۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ | ۱۶۱ | ۱۸۸ | ۱۸۹ | ۱۷۲/۸۳ |
| ۹ | ۵۵۰۰ | ۵۰۰ | ۳۶۸ | ۲٤۰۰ | ۲٤۲۰ | ۲٤۸۰ | ۲۵۹۰ | ۲٤۶۵ | ۲۶۷ | ۵۹ | ۲٤۵۰ | ۵۲۰ | ۶۰۰ | ۲۰۰ | ۲۷۲ | ۲۸۰ | ۲۹۸ | ۲۶۷ |
| ۱۰ | ۷۵۰۰ | ۶۰۰ | ٤۰۰ | ۳۲۰۰ | ۳۳۰۰ | ۳٤۰۰ | ۳۵۰۰ | ۳۳۵۰ | ۳۰۲۶/۳۳ | ۶۰ | ٤۹۶۰ | ۸۵۲ | ۸۶۲ | ۲۳۵۰ | ۲۳۶۰ | ۳۶۶۰ | ۳۷۶۸ | ۳۰۲۶/۳۳ |
| ۱۱ | ۸۲۰۰ | ۲۵۰ | ۳۰۰ | ٤۱۰۰ | ٤۲۰۰ | ٤۲۸۸ | ٤٤۹۰ | ٤۲۶۱ | ۲۶۱/۳۳ | ۶۱ | ۵۸۷۰ | ۱۲۵۰ | ۱٤۰۰ | ۲٤۰ | ۲۶۱ | ۲۶٤ | ۲۷۸ | ۲۶۱/۳۳ |
| ۱۲ | ۲۰٤۰ | ۱۵۰ | ۱۵۸ | ۱۵۰ | ۱۵۶ | ۱۶۸ | ۲۰۰ | ۱۶۶/۳۳ | ۱۳۲/۵۰ | ۶۲ | ۳۶۵۰ | ٤۰۷ | ٤۰۰ | ۱۱۰ | ۱۲۶ | ۱۳٤ | ۱۶۵ | ۱۳۲/۵۰ |
| ۱۳ | ۲۱۰۰ | ۵۰۰ | ۵۵۰ | ۱۶۰ | ۱۸۰ | ۱۹٤ | ۱۹۹ | ۱۸٤/۵۰ | ۱۶۹/۳۳ | ۶۳ | ٤۵۲۰ | ۸۶۳ | ۷۹۰ | ۱۶۰ | ۱۶۲ | ۱۶۷ | ۱۹۸ | ۱۶۹/۳۳ |
| ۱٤ | ۳۶۰۰ | ۵۵۰ | ۵۵۰ | ۲۶۰ | ۲۶۸ | ۲۸۸ | ۲۸۹ | ۲۷۶/۸۳ | ٤٤۰۳/۳۳ | ۶٤ | ۸۹۵۲ | ۷٤۱ | ۷۰۰ | ٤۱۲۰ | ٤۲۳۰ | ٤۵۸۰ | ٤۶۸۰ | ٤٤۰۳/۳۳ |
| ۱۵ | ۱۸۰۰ | ۳۵۰ | ۲۸۰ | ۱۱۰ | ۱۱۳ | ۲۰۰ | ۳۶۰ | ۱۸۲/۶۷ | ۲۳۲۶/۶۷ | ۶۵ | ٤۵۲۶ | ۸۵۲ | ۸۵۲ | ۲۰۲۰ | ۲۳۰۰ | ۲٤۲۰ | ۲۵۰۰ | ۲۳۲۶/۶۷ |
| ۱۶ | ۶۵۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۳۰۰ | ۳۲۰۰ | ۳۲۵۰ | ۳۳۰۰ | ۳۶۰۰ | ۳۳۱۶/۶۷ | ٤٤۰۳/۳۳ | ۶۶ | ۷۸۵۲ | ۳۲۰ | ۳۳٤ | ٤۰۰۰ | ٤۲۳۰ | ٤۵۹۰ | ٤۷۸۰ | ٤٤۰۳/۳۳ |
| ۱۷ | ۳۲۰۰ | ۱۵۰ | ۱۷۰ | ۱۲۰ | ۱۳۵ | ۱٤۰ | ۱۵۶ | ۱۳۷/۶۷ | ۱۷۰/۵۰ | ۶۷ | ۱۲۵۸ | ۲۰۳ | ۲۰۰ | ۱۵۶ | ۱۶۱ | ۱۷۸ | ۱۸۹ | ۱۷۰/۵۰ |
| ۱۸ | ۳۰۰۰ | ۳۰۰ | ۲٤۰ | ۱۶۰ | ۱۷۱ | ۲۷۱ | ۲۸۲ | ۲۲۱ | ۲٤۷/۶۷ | ۶۸ | ۲۵۸۶ | ۲۰۰ | ۱۶۷ | ۲۲۲ | ۲۳۷ | ۲۵۶ | ۲۷۸ | ۲٤۷/۶۷ |
| ۱۹ | ٤٤۰۰ | ۲٤۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۰۰۰ | ۳۰٤۰ | ۲۶۷۳/۳۳ | ۱۲۸/۶۷ | ۶۹ | ۳۶۵۲ | ۱۲۰۵ | ۱۲٤۰ | ۱۱۷ | ۱۲۱ | ۱۳٤ | ۱٤۵ | ۱۲۸/۶۷ |
| ۲۰ | ۷۳۰۰ | ۱۸۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰۰ | ۲۲۰۰ | ۲۷۰۰ | ۲۸۹۰ | ۲٤٤۸/۳۳ | ۲۸۷/۶۷ | ۷۰ | ٤۵۲۰ | ۳۶۲ | ٤۵۸ | ۱۲٤ | ۱۳۵ | ۱٤۵ | ۱۵٤ | ۲۸۷/۶۷ |
| ۲۱ | ۸۵۰۰ | ۳۵۰ | ۳۰۰ | ۳۳۰۰ | ۳٤۵۰ | ۳۸۰۰ | ۳۹۰۰ | ۳۶۱۶/۶۷ | ۲٤۶۰/۸۳ | ۷۱ | ۷٤۵۲ | ۲۵٤ | ۲٤۰ | ۲۸۱ | ۲۸٤ | ۲۸۹ | ۲۹۹ | ۲٤۶۰/۸۳ |
| ۲۲ | ۷۳۰۰ | ۱۲۰۶ | ۱۲۱۰ | ۲۵۵۰ | ۲۶۵۰ | ۲۸۸۰ | ۳٤۰۰ | ۲۸۳۵ | ۲۵۶/۱۷ | ۷۲ | ۶۵۲۱ | ۸۵۰ | ۸۰۰ | ۲۲٤۵ | ۲۳۶۰ | ۲٤۰۰ | ۳۰۰۰ | ۲۵۶/۱۷ |
| ۲۳ | ۲۵۰۰ | ۳۶۲ | ۳۰۰ | ۲۸۰ | ۲۹۲ | ۳۸۰ | ۳۸۹ | ۳۳۵/۵۰ | ٤٤۳۵/۳۳ | ۷۳ | ۳۶۵۲ | ٤۱۵ | ٤۱۵ | ۲۳٤ | ۲٤۰ | ۲۶۷ | ۲۸۹ | ٤٤۳۵/۳۳ |
| ۲٤ | ۸۰۰ | ۵۲۶ | ۶۰۰ | ۲۸۰ | ۲۸۵ | ۳۰۰ | ۳۵۷ | ۳۰۱/۱۷ | ۳۰۱/۵۰ | ۷٤ | ۷٤۵۲ | ۳۶۵ | ۳۶۰ | ٤۲۲۳ | ٤۲۵۰ | ٤۵۵۰ | ٤۷۸۹ | ۳۰۱/۵۰ |
| ۲۵ | ۶۵۰۰ | ۲۰۳ | ۲٤۰ | ۱۰۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۳۰۰ | ۱۳۷۸ | ۱۲۲۹/۶۷ | ۲۲۷/۶۷ | ۷۵ | ۱۲٤۵ | ۳۲۵ | ۳۲۸ | ۲۲٤ | ۲۵۳ | ۳٤۶ | ۳۸۷ | ۲۲۷/۶۷ |
| ۲۶ | ۳۸۰۰ | ۵۲۶ | ۵۰۰ | ۸۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۵۰ | ۱۰۸۰ | ۹۹۶/۶۷ | ۲۳۲/۶۷ | ۷۶ | ۱۷۸۹ | ۷۱۵ | ۷۰۰ | ۱۸۶ | ۱۹۷ | ۲۵٤ | ۲۷۸ | ۲۳۲/۶۷ |
| ۲۷ | ۲٤۰۰ | ۸۵۲ | ۱۰۰۰ | ٤۶۰ | ۵۰۰ | ۵۸۰ | ۵۹۸ | ۵۳۶/۳۳ | ۳۸۷۱/۵۰ | ۷۷ | ۳۶۵۰ | ۹۲۵ | ۹۲۵ | ۲۱۵ | ۲۲۰ | ۲٤۳ | ۲۵۵ | ۳۸۷۱/۵۰ |
| ۲۸ | ۱۸۰۰ | ۲۳۶۰ | ۲٤۰۰ | ۲٤۰ | ۲٤۶ | ۲۷۹ | ۲۸۹ | ۲۶۳/۱۷ | ۳۱٤۵/۵۰ | ۷۸ | ۸۵٤۱ | ۹۶۵ | ۹۸۰ | ۳۵۶۰ | ۳۶۵۲ | ٤۰۰۰ | ٤۳۶۵ | ۳۱٤۵/۵۰ |
| ۲۹ | ۱۲۵۰ | ۱۲۰۵ | ۱۲۰۰ | ۱۲۳ | ۱۲۵ | ۱٤۵ | ۱۵۸ | ۱۳۶/۸۳ | ۱۶۷/۶۷ | ۷۹ | ۶۰۷۹ | ۷۱۵ | ۹۸۰ | ۲۳۵۹ | ۲۳۶۲ | ۳۹۰۰ | ۳۹۹۰ | ۱۶۷/۶۷ |

| D | $\widetilde{D}_i$ | | | | $A_{iv}$ | | $h_i$ | i | D | $\widetilde{D}_i$ | | | | $A_{iv}$ | | $h_i$ | i |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ۲ | ۱ | | | | | | | | ۲ | ۱ | | |
| ۱۴۲ | ۱۸۹ | ۱۷۸ | ۱۵۸ | ۱۴۵ | ۸۹۲ | ۸۶۵ | ۱۰۲۳ | ۸۰ | ۲۳۷ | ۲۹۸ | ۲۸۰ | ۱۸۹ | ۱۸۶ | ۴۰۰ | ۴۲۵ | ۹۸۰ | ۳۰ |
| ۱۵۲/۱۷ | ۱۷۸ | ۱۴۸ | ۱۲۹ | ۱۲۰ | ۳۸۰ | ۳۸۵ | ۲۰ | ۸۱ | ۲۵۲/۵۰ | ۳۰۰ | ۲۸۰ | ۲۲۰ | ۲۱۵ | ۲۷۰ | ۲۵۶ | ۱۴۸۰ | ۳۱ |
| ۲۶۰۰/۶۷ | ۱۹۸ | ۱۶۷ | ۱۲۹ | ۱۲۳ | ۶۰۰ | ۶۳۵ | ۱۶۰ | ۸۲ | ۲۴۶/۵۰ | ۲۸۹ | ۲۶۸ | ۲۲۷ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۳ | ۲۵۰۰ | ۳۲ |
| ۱۷۰/۳۳ | ۲۸۶۴ | ۲۵۹۰ | ۲۵۳۰ | ۲۵۰۰ | ۷۴۵ | ۷۴۵ | ۸۵۲۰ | ۸۳ | ۱۳۹۵ | ۱۶۹۰ | ۱۴۰۰ | ۱۳۰۰ | ۱۲۸۰ | ۸۶۰ | ۸۰۲ | ۳۳۵۰ | ۳۳ |
| ۲۴۲/۶۷ | ۱۹۸ | ۱۶۹ | ۱۶۳ | ۱۶۰ | ۱۰۰۰ | ۹۵۲ | ۱۲۰۳ | ۸۴ | ۲۳۵ | ۲۶۸ | ۲۴۰ | ۲۲۱ | ۲۲۰ | ۴۳۰ | ۴۰۶ | ۲۶۰۰ | ۳۴ |
| ۱۴۵ | ۳۴۰ | ۲۴۵ | ۲۱۳ | ۲۰۰ | ۱۱۰۰ | ۱۱۰۰ | ۴۵۸۲ | ۸۵ | ۱۳۹ | ۲۰۰ | ۱۶۸ | ۱۰۰ | ۹۸ | ۶۵۰ | ۶۳۲ | ۱۵۰ | ۳۵ |
| ۱۵۳/۶۷ | ۱۵۹ | ۱۴۸ | ۱۴۰ | ۱۳۵ | ۲۵۰ | ۲۵۶ | ۷۴۱۰ | ۸۶ | ۴۳۹۸/۳۳ | ۴۸۹۰ | ۴۵۰۰ | ۴۲۰۰ | ۴۱۰۰ | ۲۰۰ | ۲۵۶ | ۹۸۰۰ | ۳۶ |
| ۱۷۶ | ۱۸۹ | ۱۶۰ | ۱۳۹ | ۱۳۵ | ۳۶۸ | ۳۸۵ | ۳۶۵۲ | ۸۷ | ۵۶۹۸/۳۳ | ۶۷۹۰ | ۶۰۰۰ | ۵۲۰۰ | ۵۰۰۰ | ۹۰۰ | ۹۵۲ | ۱۱۰۰۰ | ۳۷ |
| ۲۸۲/۵۰ | ۱۹۸ | ۱۸۹ | ۱۷۴ | ۱۳۲ | ۴۶۵ | ۴۵۶ | ۴۰۳۶ | ۸۸ | ۲۸۱۰ | ۳۰۰۰ | ۲۹۸۰ | ۲۶۵۰ | ۲۶۰۰ | ۴۰۰ | ۴۵۲ | ۱۰۵۰۰ | ۳۸ |
| ۳۶۰۳/۵۰ | ۲۹۴ | ۲۸۹ | ۲۷۶ | ۲۷۱ | ۴۶۰ | ۴۵۰ | ۱۰۲۶ | ۸۹ | ۳۷۵۳/۳۳ | ۴۰۲۰ | ۳۸۰۰ | ۳۶۵۰ | ۳۶۰۰ | ۷۰۰ | ۷۴۵ | ۸۷۰۰ | ۳۹ |
| ۱۳۹/۶۷ | ۳۸۹۹ | ۳۶۸۹ | ۳۶۳۲ | ۳۰۸۰ | ۸۰۰ | ۸۵۰ | ۸۴۰۶ | ۹۰ | ۱۲۰۳/۳۳ | ۱۴۴۰ | ۱۲۰۰ | ۱۱۴۰ | ۱۱۰۰ | ۸۶۰ | ۸۵۰ | ۴۲۰۰ | ۴۰ |
| ۴۳۵۴ | ۴۶۰۸ | ۴۵۰۸ | ۴۲۰۰ | ۴۱۰۰ | ۷۰۰ | ۷۴۰ | ۹۵۰۱ | ۹۱ | ۱۰۵۹/۱۷ | ۱۱۱۵ | ۱۱۰۰ | ۱۰۲۰ | ۱۰۰۰ | ۶۰۰ | ۶۲۰ | ۳۵۶۰ | ۴۱ |
| ۲۷۹ | ۳۳۳ | ۳۰۰ | ۲۵۹ | ۲۲۳ | ۹۲۸ | ۹۳۰ | ۲۰۳۶ | ۹۲ | ۱۶۷/۶۷ | ۲۵۶ | ۲۰۰ | ۱۲۰ | ۱۱۰ | ۴۰۰ | ۴۱۰ | ۱۸۵ | ۴۲ |
| ۲۶۴/۱۷ | ۳۲۴ | ۳۰۰ | ۲۳۰ | ۲۰۱ | ۹۸۰ | ۹۵۰ | ۱۰۲۶ | ۹۳ | ۱۲۴۲ | ۱۳۰۰ | ۱۲۴۶ | ۱۲۳۰ | ۱۲۰۰ | ۶۰۰ | ۶۳۰ | ۴۷۸۰ | ۴۳ |
| ۱۵۲/۶۷ | ۱۹۷ | ۱۹۰ | ۱۱۶ | ۱۰۷ | ۴۵۰ | ۴۰۵ | ۳۵۲۰ | ۹۴ | ۵۵۸ | ۵۹۰ | ۵۶۹ | ۵۶۰ | ۵۰۰ | ۴۰۰ | ۴۱۰ | ۳۴۸۰ | ۴۴ |
| ۴۳۰۵/۱۷ | ۴۴۸۷ | ۴۳۰۰ | ۴۲۵۲ | ۴۲۴۰ | ۶۸۰ | ۶۵۰ | ۷۴۵۲ | ۹۵ | ۲۶۴۶ | ۴۰۲۰ | ۲۳۹۸ | ۲۳۶۰ | ۲۳۴۰ | ۶۸۰ | ۶۵۲ | ۵۹۶۰ | ۴۵ |
| ۱۶۲/۸۳ | ۱۸۶ | ۱۷۸ | ۱۵۰ | ۱۳۵ | ۱۷۰۰ | ۱۵۲۰ | ۱۲۰۳ | ۹۶ | ۹۷۱ | ۱۰۳۶ | ۱۰۰۰ | ۹۵۰ | ۸۹۰ | ۸۸۰ | ۸۵۰ | ۴۷۵۰ | ۴۶ |
| ۳۶۳۷/۶۷ | ۳۸۷۵ | ۳۶۸۰ | ۳۶۵۲ | ۳۲۸۷ | ۲۴۰ | ۲۵۰ | ۸۵۲۰ | ۹۷ | ۱۱۲۳/۳۳ | ۱۴۶۰ | ۱۲۰۰ | ۱۱۰۰ | ۶۸۰ | ۹۰۰ | ۹۳۰ | ۵۵۶۰ | ۴۷ |
| ۲۱۵/۱۷ | ۳۴۳ | ۲۴۶ | ۱۶۱ | ۱۳۴ | ۳۰۰ | ۳۵۰ | ۱۰۲۶ | ۹۸ | ۱۵۰/۵۰ | ۱۸۷ | ۱۶۷ | ۱۵۲ | ۷۸ | ۴۲۰ | ۴۲۰ | ۳۵۰۰ | ۴۸ |
| ۲۷۹/۶۷ | ۳۹۸ | ۲۷۶ | ۲۴۴ | ۲۴۰ | ۴۵۰ | ۴۵۰ | ۱۰۲۶ | ۹۹ | ۱۲۸۶/۶۷ | ۱۴۰۰ | ۱۳۳۰ | ۱۲۳۰ | ۱۲۰۰ | ۷۰۳ | ۷۰۳ | ۴۸۰۰ | ۴۹ |
| ۵۵۱۴/۶۷ | ۵۹۹۲ | ۵۹۸۰ | ۵۲۳۰ | ۴۶۷۶ | ۸۰۰ | ۸۵۰ | ۸۵۲۰ | ۱۰۰ | ۱۶۰/۳۳ | ۲۰۰ | ۱۷۸ | ۱۵۳ | ۱۰۰ | ۶۲۰ | ۶۲۵ | ۳۶۰ | ۵۰ |

$f$=۷; $c$ = ۱

با استفاده از داده‌های جداول ۸، ۹ و ۱۰، شبه کد الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، ۳ بار بر اساس طراحی L9 تاگوچی اجرا شد که مقادیر تابع هدف به ازای ترکیبات مختلف از پارامترهای مؤثر در اجرای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب در جدول ۱۱ به‌دست‌آمده است و در آخرین ستون جدول ۱۱ نتایج بدون مقیاس سازی مقادیر توابع هدف به روش شاخص انحراف نسبی[1] با استفاده از رابطه (۲۶) نشان داده‌شده است.

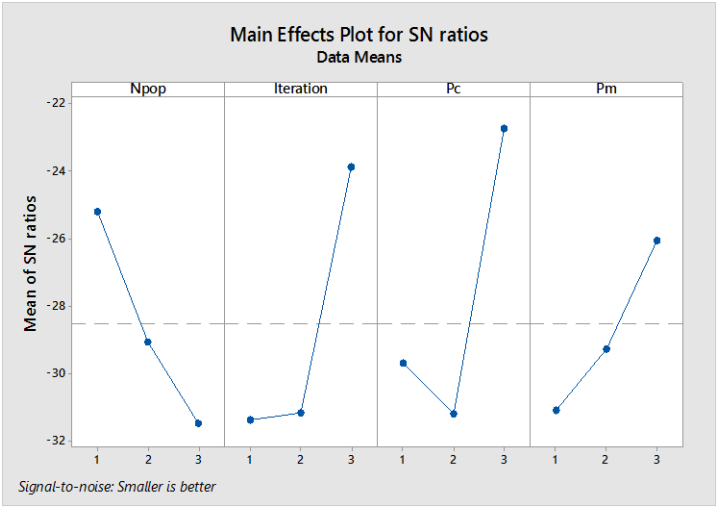
$$RDI = \left|\frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Min_{sol}}\right| 100 \qquad (۲۶)$$

که در آن، $Min_{sol}$ کوچک‌ترین جواب و $Alg_{sol}$ یک جواب به‌دست‌آمده از اجرای آزمایش‌ها می‌باشد. با توجه به معادله (۲۶)، مقادیر کوچک‌تر، نشانگر ترکیبات بهتری از پارامترها می‌باشند.

**جدول ۱۱- نتایج آزمایش‌ها برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

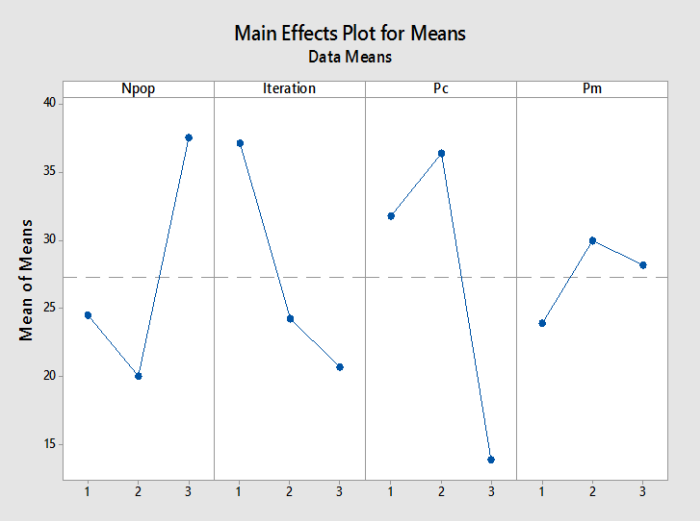
| شماره آزمایش | $N_{pop}$ | Iteration | $P_c$ | $P_m$ | هزینه | RDI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۶۸۴۶۵۳/۶۵۱ | ۳۵/۲۸۲۶۹ |
| ۲ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱۶۵۶۶۲۳/۳۲۱ | ۳۳/۰۳۱۷۷ |
| ۳ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۳۰۹۴۹۰/۸۷۱ | ۵/۱۵۶۰۰۴ |
| ٤ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱۷۳۸۶۱۳/۸۱۸ | ۳۹/۶۱۵۸۵ |
| ۵ | ۳ | ۲ | ۳ | ۱ | ۱۲٤۵۲۸۳/۹۸۱ | ۰ |
| ٦ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱٤۹۸۷۱۸/۰٤٦ | ۲۰/۳۵۱۵۱ |
| ۷ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱٦۹۸۸۷۲/۰۷٦ | ۳٦/٤۲٤٤۷ |
| ۸ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱۷۳۸۸٤۱/۷۰۸ | ۳۹/٦۳٤۱۵ |
| ۹ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱٦۹۸٦۸۷/۱۲۲۲ | ۳٦/٤۰۹٦۲ |

با توجه به نتایج جدول بالا، می‌توان گفت که چون مسئله ما از نوع مینیمم‌سازی می‌باشد، پس کم‌ترین هزینه، بهترین مقدار تابع برازندگی را دارد که مربوط به آزمایش شماره ۵ با ترکیبات مختلف سطوح پارامتر می‌باشد. بدین معنی که در پارامتر اول ($N_{pop}$)، سطح سوم بهینه می‌باشد. شکل‌های ٦ و ۷، نمودار میانگین $S/N$[2] و میانگین‌ها را برای هر یک از پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب که با نرم‌افزار Minitab 17.1.0 به‌دست‌آمده، نشان می‌دهند.




**شکل ۶- نمودار میانگین $S/N$ برای هر سطح از پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

[1] RDI: Relative Deviation Index
[2] $S/N$: Signal to Noise Ratio




**شکل ۷- نمودار میانگین، میانگین‌ها برای هر سطح از پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

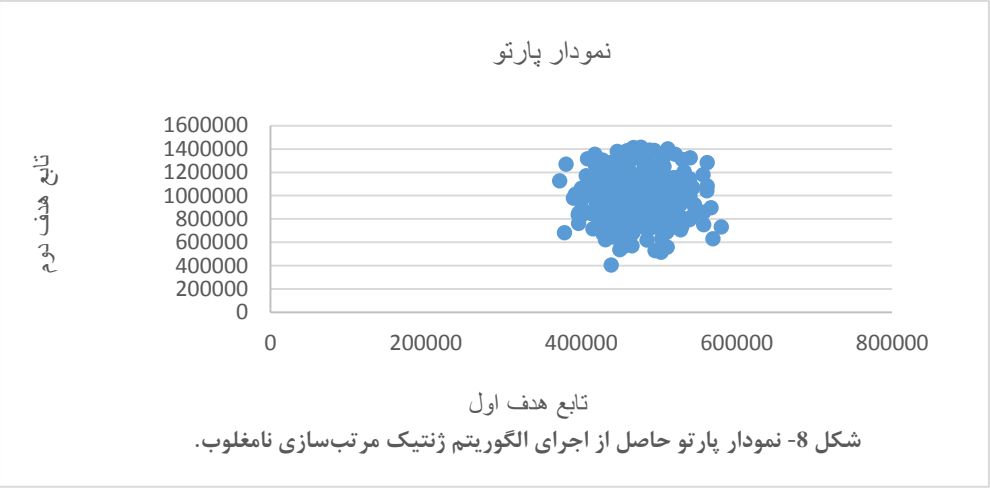
با توجه به شکل‌های ٦ و ۷، نتیجه می‌گیریم که بر اساس پارامتر اندازه جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب ($N_{pop}$)، نمی‌توان در مورد انتخاب سطوح پارامتر بهینه تصمیم‌گیری کرد، چون پارامتر $N_{pop}$ در نمودار میانگین $S/N$ در سطح اول، دارای بالاترین مقدار خود می‌باشد و در نمودار میانگین‌ها که کم‌ترین مقدار برای پارامتر به‌عنوان سطح مطلوب در نظر گرفته می‌شود، سطح اول ($N_{pop}$) قرار ندارد. به همین ترتیب برای پارامترهای بعدی، این مقایسه انجام می‌شود که بر اساس آن می‌توان گفت که پارامتر دوم (*Iteration*) و سوم ($P_c$) را می‌توان پارامتر بهینه انتخاب نمود. درنتیجه طبق نتایج موجود در جدول ۱۱ و همچنین شکل‌های ٦ و ۷، مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب در جدول ۱۲ ارائه‌شده است.

**جدول ۱۲- تنظیم پارامتر برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب.**

| پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب | مقدار |
|---|---|
| $N_{pop}$ | ۱۲۰ |
| Iteration | ۷۵۰ |
| $P_c$ | ۰/۸۵ |
| $P_m$ | ۰/۲ |

توجه داشته باشید که الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب به‌منظور به دست آوردن مقادیر بهینه متغیرهای مسئله ۲ فروشنده و ۱۰۰ خرده‌فروش با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2014a روی یک کامپیوتر با پردازنده intel® Core ™ i7-4500U ۱/۸۰ گیگاهرتز و حافظه RAM ۸ گیگابایت اجرا شد و نمودار پارتو حاصل از اجرای آن در شکل ۸ آورده شده است.

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۲، شماره (۲)، بهمن ۱۳۹٦، صفحه: ۱٤۷-۱٦۸




**شکل 8- نمودار پارتو حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب.**

با توجه به شکل ۸، نتیجه می‌شود که مقادیر توابع هدف خیلی نزدیک به هم هستند و تغییر در مقدار تابع هدف اول باعث ایجاد تغییر در مقدار تابع هدف دوم می‌گردد. چون تابع هدف مسئله موردنظر ما از نوع مینیمم‌سازی می‌باشد لذا نقاطی که دارای کمترین مقدار برای هر دو تابع هدف هستند، نقاط بهینه می‌باشند.

## ۶- نتایج و پیشنهادهای آتی

در این مقاله، یک مدل دوهدفه مدیریت موجودی فروشنده با تقاضای فازی برای فروشنده‌های متعدد در یک زنجیره تأمین متشکل از چند خرده‌فروش، چند فروشنده و چند انبار توسعه داده شد که در آن تقاضاها به‌صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته‌شده بودند. هدف این مقاله، یافتن تعداد تکمیل موجودی‌های بهینه فروشندگان و خرده‌فروشان همراه با مقادیر سفارش دهی خرده‌فروشان بود، به‌طوری‌که کل هزینه موجودی کمینه و فضای انبار بهینه شود و محدودیت‌های فروشنده، یعنی تعداد سفارش‌ها و بودجه در دسترس برای هر فروشنده، ارضا شوند. ازآنجاکه مسئله مدیریت موجودی فروشنده به‌صورت یک مسئله دوهدفه برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح تحت تقاضای فازی فرموله شد، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب برای یافتن جواب‌های جبهه پارتو توسعه داده شد و سپس برای یک مطالعه موردی اجرا گردید. با توجه به نمودار پارتو حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نا مغلوب، می‌توان نتیجه گرفت که نقاطی که دارای کمترین مقدار برای هر دو تابع هدف هستند نقاط بهینه می‌باشند. همچنین برای تنظیم پارامتر الگوریتم، از روش تنظیم پارامتر تا گوچی استفاده گردید و مقادیر بهینه پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد الگوریتم ($N_{pop}$, $Iteration$, $P_c$, $P_m$) و سطوح بهینه این ترکیبات بیان شد. می‌توان نتایج زیر را به‌عنوان پیشنهادهای مدیریتی ارائه نمود:

۱. خرده‌فروشان می‌بایست در انتخاب فروشنده، هزینه‌های موجودی مربوط به مدل مدیریت موجودی فروشنده را موردتوجه قرار دهند تا هزینه کل تأمین موادشان به حداقل رسد.
۲. استفاده از انبار مجزا می‌تواند هزینه فروشندگان را در کمترین حالت خود قرار دهد.

برای تحقیقات آینده، موارد زیر را پیشنهاد می‌کنیم:

۱. این مدل می‌تواند برای سیاست مقدار تولید اقتصادی گسترش یابد و نتایج آن با مقاله پیشرو مقایسه گردد.
۲. تخفیف و کمبود می‌تواند به مدل اضافه‌شده و با حالت بدون کمبود و تخفیف مقایسه شود.
۳. این مدل می‌تواند برای حالتی که فروشندگان دارای یک انبار مرکزی باشند نیز به‌کاربرده شود.

## منابع انگلیسی




Cárdenas-Barrón, L. E., Treviño-Garza, G., & Wee, H. M. (2012). A simple and better algorithm to solve the vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model. Expert systems with applications, 39(3), 3888-3895.

Cordeau, J. F., Laganà, D., Musmanno, R., & Vocaturo, F. (2015). A decomposition-based heuristic for the multiple-product inventory-routing problem. *Computers & operations research*, *55*, 153-166.

Darwish, M. A., & Odah, O. M. (2010). Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European journal of operational research*, *204*(3), 473-484.

Gupta, R. K., Bhunia, A. K., & Goyal, S. K. (2009). An application of Genetic Algorithm in solving an inventory model with advance payment and interval valued inventory costs. *Mathematical and computer modelling*, *49*(5-6), 893-905.

Magee, J. F. (1958). *Production planning and inventory control*. McGraw-Hill Book Company.

Mateen, A., Chatterjee, A. K., and Mitra, S. (2015). VMI for single-vendor multi-retailer supply chains under stochastic demand. *Computers & industrial engineering, 79*, 95–102. http://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.028

Mirzaei, S., & Seifi, A. (2015). Considering lost sale in inventory routing problems for perishable goods. *Computers & industrial engineering*, *87*, 213-227.

Nachiappan, S. P., & Jawahar, N. (2007). A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European journal of operational research*, *182*(3), 1433-1452.

Niakan, F., & Rahimi, M. (2015). A multi-objective healthcare inventory routing problem; a fuzzy possibilistic approach. *Transportation research part E: Logistics and transportation review*, *80*, 74-94.

Park, Y. B., Yoo, J. S., & Park, H. S. (2016). A genetic algorithm for the vendor-managed inventory routing problem with lost sales. *Expert systems with applications*, *53*, 149-159.

Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R. (2011). A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model. *Expert systems with applications*, *38*(3), 2708-2716.

Rabbani, M., Rezaei, H., Lashgari, M., & Farrokhi-Asl, H. (2018). Vendor managed inventory control system for deteriorating items using metaheuristic algorithms. *Decision science letters*, *7*(1), 25-38.

Rad, R. H., Razmi, J., Sangari, M. S., & Ebrahimi, Z. F. (2014). Optimizing an integrated vendor-managed inventory system for a single-vendor two-buyer supply chain with determining weighting factor for vendor′ s ordering cost. *International journal of production economics*, *153*, 295-308.

Sadeghi, J., & Niaki, S. T. A. (2015). Two parameter tuned multi-objective evolutionary algorithms for a bi-objective vendor managed inventory model with trapezoidal fuzzy demand. *Applied soft computing*, *30*, 567-576.

Sadeghi, J., and Niaki, S. T. A. (2015b). Two parameter tuned multi-objective evolutionary algorithms for a bi-objective vendor managed inventory model with trapezoidal fuzzy demand. *Applied soft computing journal, 30*, 567–576. http://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.013

Sadeghi, J., Sadeghi, A., and Saidi mehrabad, M. (2011). A parameter-tuned genetic algorithm for vendor managed inventory model for a case single-vendor single-retailer with multi-product and multi-constraint. *Journal of optimization in industrial engineering, 4*(9), 57–67. Retrieved from http://www.sid.ir/En/Journal/index.aspx

Sadeghi, J., Sadeghi, S., & Niaki, S. T. A. (2014). Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: an improved particle swarm optimization algorithm. *Information sciences*, *272*, 126-144.

T Tersine, R. J. (1994). *Principles of inventory and materials management*. Prentice Hall.

Verma, N. K., & Chatterjee, A. K. (2017). A multiple-retailer replenishment model under VMI: Accounting for the retailer heterogeneity. *Computers & industrial engineering*, *104*, 175-187.

Waller, M., Johnson, M. E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of business logistics*, *20*(1), 183.

Yang, W., Chan, F. T., & Kumar, V. (2012). Optimizing replenishment polices using Genetic Algorithm for single-warehouse multi-retailer system. *Expert systems with applications*, *39*(3), 3081-3086.

Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision support systems*, *43*(2), 663-674.

Yu, Y., Wang, Z., & Liang, L. (2012). A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products. *International journal of production economics*, *136*(2), 266-274.


نشریه تصمیم گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۲ ، شماره (۲)، بهمن ۱۳۹۶، صفحه: ۱۴۷-۱۶۸