

حداقل کردن هزینه‌های توزیع زنجیره تأمین چندسطحی با رویکرد الگوریتم ژنتیک و روش هیبریدی

محمدجعفر تارخ^{1*} و امیر ناصری²

¹ دانشیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

² کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه پیام نور

(تاریخ دریافت 90/2/3، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده 90/10/19، تاریخ تصویب 91/1/19)

چکیده

در این مقاله، شبکه توزیع برای زنجیره تأمین چندسطحی مورد مطالعه قرار گرفته است. محصولات در کارخانجات تولید و از طریق انبارها و مراکز توزیع بر اساس تقاضاهای معین به مشتریان ارسال می‌شوند. در همین راستا مدلی طراحی شده است که هزینه‌های شبکه توزیع را در زنجیره تأمین چندسطحی حداقل کند. یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مدل فرموله شده است. با توجه به Np-Hard مدل پایه، مدل پیشنهادی ارائه شده این مقاله نیز در این طبقه جای می‌گیرد. بنابراین برای حل مدل از دو روش فراابتکاری کمک گرفته شده است. در روش اول از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است تا جواب‌های مناسب کیفیت داشته و همچنین از نظر زمانی سرعت حل افزایش یابد. در ادامه با استفاده از الگوریتم ترکیبی پیشنهادی، دو الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید با هم ترکیب شده است تا جواب‌های نزدیک‌تری به جواب بهینه حاصل شود. نتایج محاسباتی، حاکی از برتری الگوریتم ترکیبی برای مدل‌های با ابعاد متوسط و کوچک است، ولی برای مدل‌های با ابعاد بزرگ، استفاده از الگوریتم ژنتیک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم هیبریدی ژنتیک - شبیه‌سازی تبرید، مدیریت زنجیره تأمین، هزینه فروش از دست رفته،

مدل‌های موجودی - توزیع، ظرفیت تسهیلات

مقدمه

تأمین¹ استفاده کنیم [2]. در این میان، توزیع، در واقع اختصاص دادن مقدار مشخصی از کالا به مصرف‌کننده است که با نیاز او مطابقت داشته و تأمین همان کالا از تولیدکننده است. همواره یک توزیع‌کننده سازمانی است که مالکیت محصولات دریافتی از تولیدکننده برای فروش به مشتریان را در اختیار دارد [3]. توزیع‌کنندگان علاوه بر فروش و ترویج محصول، فعالیت‌های دیگری همچون مدیریت موجودی، امور انبارداری، حمل و نقل محصول و خدمات پس از فروش را نیز انجام می‌دهند. همچنین توزیع‌کننده می‌تواند فقط یک واسطه بین تولیدکننده و مشتری باشد، به طوری که هیچ‌گاه مالکیت محصول را در اختیار نگیرد. این نوع توزیع‌کنندگان بیشتر امور فروش و ترویج محصول را بر عهده دارند. در هر دو حالت ذکر شده، توزیع‌کنندگان با رشد انتظارات مشتری و تغییر محصولات در دسترس، همواره نیازهای مشتری را پیگیری کرده و آن را از طریق محصولات موجود رفع می‌کنند [4]. هنگامی که تأمین‌کنندگان از نظر مسافت فاصله زیادی با مشتریان دارند، استفاده از یک مرکز توزیع برای انتقال حجم زیادی

یک زنجیره تأمین در ارتباط با برنامه‌ریزی، هماهنگی و کنترل مواد خام، فرآیند و محصولات نهایی است. نگرش حاکم بر مدیریت زنجیره تأمین این است که ارتباط‌دهنده همه فرآیندهای تولید و تأمین از مواد خام تا مشتری نهایی است و می‌تواند چندین سازمان را در برگیرد. مدیریت زنجیره تأمین روی چگونگی بهره‌برداری از فرآیندها، تکنولوژی‌ها و قابلیت‌های تأمین‌کنندگان برای تقویت مزایای رقابتی تمرکز دارد. یک زنجیره تأمین شبکه‌ای از تجهیزات و امکانات توزیع است که عملیات - های تأمین مواد، تبدیل مواد به محصولات نیمه ساخته و نهایی و توزیع محصولات نهایی در بین مشتری را بر عهده دارد [1]. در دنیای امروز، ما در میان مجموعه‌ای پیچیده از زنجیره‌های تأمین زندگی می‌کنیم. زنجیره‌هایی که به موازات هم حرکت می‌کنند، بعضی از آنها همدیگر را قطع می‌کنند و چونان تارهای درهم تنیده‌ای دست‌اندرکار تأمین نیازمندی‌های انسان‌ها هستند. به همین دلیل نیز اگر بخواهیم دقیق‌تر به موضوع نگاه کنیم، بهتر بود به جای زنجیره‌های تأمین، از عنوان شبکه‌های زنجیره

می‌شود و فقط تحقیقات جدیدتر که به نوعی با موضوع این پژوهش مرتبط هستند، آورده می‌شوند. بنابراین به این دلیل که حوزه کاری این مقاله متعلق به مدل‌های برنامه-ریزی عملیاتی و بخصوص مدل‌های موجودی-توزیع است، به این بخش از کارهای انجام‌شده می‌پردازیم. مدل‌های برنامه‌ریزی عملیاتی شامل مدل‌های خریدار-تأمین‌کننده⁸، مدل‌های تولید-توزیع⁹ و مدل‌های موجودی-توزیع¹⁰ است که به مرور آنها خواهیم پرداخت:

مدل‌های خریدار-تأمین‌کننده: زنجیره تأمین با

خرید مواد اولیه شروع می‌شود. بسیاری از مدل‌های سنتی روی تعیین مقادیر بهینه سفارش برای خرید متمرکز شده‌اند [6]. مدل‌های ارائه‌شده در این بخش شامل: نخست مدل‌های تک خریدار - تک تأمین‌کننده هستند که بانرجی [7]، گویال [8]، موناها [9] و توماس و گریفین (1996) در این زمینه کار کرده‌اند. دوم مدل‌های تک خریدار- چند تأمین‌کننده هستند. لائو و لائو (1996)، آنیوپیندی و آکلا (2001) در این بخش تمرکز کرده‌اند. سوم مدل‌های تک تأمین‌کننده- چند خریدار هستند. کهلی و پارک [10] که برای کاهش هزینه‌های بین یک تأمین‌کننده و یک گروه خریدار سیاست‌های سفارش‌دهی چندمحصولی را بررسی کردند.

مدل‌های تولید-توزیع: روابط بین تولید و توزیع در

زنجیره تأمین، به روش‌های بسیاری انجام می‌گیرد. با وجود مطالب فراوانی که پیرامون برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی توزیع موجود است، مقاله‌های کمی به طور همزمان این دو موضوع را مدل کرده‌اند. شاخص‌ترین عامل در سیستم توزیع، فعالیت حمل و نقل به شمار می‌آید. افرادی مانند بامول و ویند (1970)، کانستیل یارک (1978)، ویلیامز (1996)، بنیامین (1996)، هاگ و همکارانش (1991) و اکسیوگلو و همکاران [11] در سال-های اخیر در این قسمت مطالعه کرده‌اند. لیانگ و چنگ [12] مطالعه خود را در فضای دوسطحی از زنجیره تأمین که شامل تولیدکننده و مشتری است، متمرکز کردند و به دنبال یک برنامه‌ریزی تولید-توزیع با رویکرد چندمحصولی بودند. بودیا و پرینس [13] با هدف کاهش هزینه‌های آماده‌سازی تولید، هزینه حمل و نقل، هزینه

از محصولات به محلی در نزدیکی مشتریان نهایی، سبب ایجاد مزیت‌های افزایش حجم در حمل و نقل‌های با مسافت طولانی می‌شود. یک شبکه توزیع کارآمد باید برای به دست آوردن اهداف مختلف زنجیره تأمین، از کاهش هزینه‌ها گرفته تا پاسخ‌گویی بالا، به نیازهای مشتری و کاهش زمان تحویل و بسیاری دیگر تلاش کند. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این زمینه زمان پاسخگویی، تنوع محصول، قابلیت دسترسی محصول، قابل رؤیت بودن سفارش و قابلیت ارجاع است [5]. در این مقاله موضوعات توزیع و کنترل حمل و نقل برای یک محصول در چندین سطح زنجیره تأمین، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل پیشنهادی، ترکیبی از چندین کارخانه، انبار²، مرکز توزیع³ و مشتری در فضای زنجیره تأمین چندسطحی است. محصول نهایی ممکن است در هر یک از کارخانجات تا زمانی که ظرفیت کارخانه اجازه می‌دهد، تولید شود و از طریق انبارها و مراکز توزیع به مشتری تحویل داده شود. انبارها به عنوان تسهیلات نگهدارنده موجودی تعریف شده‌اند که در نزدیکی کارخانجات خواهند بود و مراکز توزیع به عنوان در دسترس‌ترین نقاط برای ارائه خدمات در نزدیکی مشتریان قرار گرفته‌اند. تقاضای مشتریان، ظرفیت کارخانجات، انبارها و مراکز توزیع به عنوان مقادیر قطعی معین شده‌اند. زمان مورد نیاز برای حمل محصولات به تسهیلات بعدی یعنی کارخانجات به انبارها، انبارها به مراکز توزیع، مراکز توزیع به مشتریان ثابت و مشخص هستند. در مدل پیشنهادی سعی داریم هزینه‌های اصلی شبکه توزیع که شامل هزینه نگهداری موجودی⁴، هزینه حمل و نقل⁵، هزینه فروش از دست‌رفته⁶، هزینه تجدید موجودی⁷ هستند را زیر نظر داشته باشیم تا بتوانیم در افزایش کارایی و بهره‌وری این قسمت از زنجیره تأمین، گامی مؤثر برداریم.

پیشینه پژوهش

مدیریت زنجیره تأمین مؤثر در یک بازار رقابتی، نیازمند زمان تحویل به موقع با موجودی کم برای برآورده‌سازی سفارشات در کمترین هزینه انجام‌شده از طریق زنجیره است [21]. طی سال‌های گذشته، تحقیقات گسترده در زمینه زنجیره تأمین و شبکه توزیع آن انجام گرفته و ادامه دارد. برای تمرکز بیشتر بر جنبه نوآوری مقالات، از آوردن مطالب بنیادی زنجیره تأمین خودداری

نگهداری محصول به بررسی موضع تولید- توزیع در فضای چند دوره‌ای پرداختند.

مدل‌های موجودی-توزیع: حمل و نقل و تحویل محصولات، فعالیت‌های پرهزینه‌ای هستند و بنابراین توانمندی‌های این حوزه تقریباً معادل با نیازهای واقعی بازار ایجاد می‌شود. پایه‌گذار اولیه در این حوزه هریس [14] بود که کارهای مقدماتی روی مدل اندازه انباشته اقتصادی را انجام داد. به دنبال وی واگنر [15] عامل تقاضای پویا را به مدل اضافه کرد و سپس مان [16] مدل موجودی با فرض تقاضای پویا را با روش فرمول‌بندی ریاضی در فضای چندمحصولی انجام داد. در ادامه کلارک و اسکارف با تمرکز بر شبکه بهینه چند مرحله‌ای یک روش تفکیک‌شدنی را برای حل بیان کردند. سپس افرادی مانند توماس و همکارانش (1980)، اسچوارز [17]، فدرگروئن و زیپکین (1984)، ونگ [18]، ویسواناتان و پپیلانی [19]، ایپن و شریچ، اریکپ و همکارانش و ارنست در این قسمت کار کرده‌اند. همچنین چیونگ [20] با هدف قرار دادن جلوگیری از فروش ازدست‌رفته به مطالعه روی تخفیفی پرداخت که برای مشتریانی که با تأخیر محصولات خود را دریافت می‌کنند، سودمند بوده و تأمین‌کننده را از هزینه‌های اضافی نجات می‌دهد. کلاسترین و معین‌زاده (2002) با ارائه یک رویکرد جدید تخفیف زمانی، به دنبال کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی در سیستم چند مرحله‌ای توزیع-موجودی بودند. کوتانگلو و لوهیا (2007) بیان کردند که با در نظر گرفتن چندین مورد برای مدل‌های حمل و نقل و توزیع به طور همزمان، می‌توان صرفه‌جویی بیشتری در هزینه‌های شبکه کرد. یونگ هون لی و همکاران [21] به دنبال کاهش هزینه‌های لجستیکی¹¹ مانند هزینه نگهداری موجودی، هزینه تجدید موجودی و هزینه حمل و نقل بودند. برای این کار آنها به سراغ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای زنجیره تأمین چندسطحی رفتند که نتیجه آن یک مدل NP-hard شد. در واقع آنها قصد داشتند یک برنامه تجدید موجودی و نحوه حمل و نقل محصولات و مقادیر جابه‌جایی کالا را در شبکه توزیع تعیین کنند. در مقالات بررسی‌شده کمتر به زنجیره تأمین چندسطحی پرداخته شده است. همچنین مدل‌های تولید- حمل و نقل و مکان‌یابی در حوزه مدیریت توزیع در زنجیره تأمین

بیشتر مورد پژوهش محققان قرار گرفته است. مدل موجودی- حمل و نقل از جمله موضوعاتی است که جای کار بیشتری را می‌طلبد. همچنین توجه به مصرف‌کنندگان و ارضای خواسته‌های آنها در بازار رقابتی، به شدت اهمیت دارد و تلاش در این جهت باعث ادامه حیات زنجیره‌ها است. از جمله عواملی که به این موضوع کمک می‌کند، توجه به هزینه‌های فروش ازدست‌رفته است. با مروری بر کارهای انجام‌شده در این حوزه، مشخص شد که با در نظر گرفتن این عوامل، فرصت‌های خوبی را می‌توان برای پژوهش پیدا کرد.

مدل برنامه‌ریزی پیشنهادی

مسائلی که امروزه اغلب در طراحی شبکه زنجیره تأمین به کار می‌روند، به جای آنکه به طراحی از پایه بپردازند، با بهبود و افزایش کارایی و تغییر ساختاری شبکه‌های موجود سر و کار دارند. امروزه استفاده از مدل‌هایی با چندین کارخانه، انبار، مراکز توزیع و مشتری در محیط زنجیره تأمین بسیار رایج شده است. رویکرد تولید و حمل و نقل، کارخانجات را قادر می‌کند که روی مسائلی مانند دستیابی به کیفیت بهتر، کاهش هزینه‌های تولید و هزینه‌های حمل و نقل و توزیع، تمرکز بیشتری داشته باشند. با وجود اینکه کارخانجات مختلف تحت تأثیر عواملی مانند هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های تولید، زمان تولید و زمان تحویل قرار گرفته‌اند، تخصیص ناحیه تقاضا به مناطق سرویس‌دهنده از جمله مسائل پیچیده است. در این مقاله سعی شده است از عوامل اصلی زنجیره تأمین در شبکه توزیع مانند کارخانجات تولیدی، انبارها و مراکز توزیع و مصرف‌کنندگان نهایی استفاده شود و در فضای سه‌سطحی به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط پرداخته شود. اقلام تولیدشده در کارخانه‌ها به یکی از انبارها حمل می‌شوند و مقادیر مورد نیاز، ذخیره شده تا در دوره‌های زمانی به سطح بعدی منتقل شوند. تعدادی مراکز توزیع که وظیفه تغذیه شبکه توزیع را دارند، به ارائه خدمات به مشتریان می‌پردازند. در این مقاله عوامل تخفیف و کمبود در مدل لحاظ نشده است. همچنین ظرفیت عوامل درگیر در زنجیره تأمین، همانند تقاضای مشتریان، قطعی در نظر گرفته شده است و مدت زمان حمل کالا به سطوح مختلف زنجیره ثابت است. تصمیم‌گیری اینکه چه مقدار از محصولات باید ذخیره

جدول 2: پارامترهای مدل پیشنهادی (Parameters)

lsc_{UT} : هزینه فروش از دست رفته برای مشتری U در دوره زمانی T

hcw_{AT} : هزینه نگهداری موجودی در انبار A در دوره زمانی T

hcd_{MT} : هزینه نگهداری موجودی در مرکز توزیع M در دوره زمانی T

scw_{AT} : هزینه تجدید موجودی در انبار A در دوره زمانی T

scd_{MT} : هزینه تجدید موجودی در مرکز توزیع M در دوره زمانی T

tcw_{KAT} : هزینه حمل و نقل از کارخانه K تا انبار A در دوره زمانی T

tcd_{AMT} : هزینه حمل و نقل از انبار A تا مرکز توزیع M در دوره زمانی T

tcc_{MUT} : هزینه حمل و نقل از مرکز توزیع M تا مشتری U در دوره زمانی T

dd_{UT} : تقاضای مشتری U در دوره زمانی T

cpf_{KT} : ظرفیت تولید کارخانه K در دوره زمانی T

cpw_{AT} : ظرفیت انبار A در دوره زمانی T

cpd_{MT} : ظرفیت مرکز توزیع M در دوره زمانی T

ctw_{KAT} : ظرفیت مقدار کالای حمل شده از کارخانه K تا انبار A در دوره زمانی T

ctd_{AMT} : ظرفیت مقدار کالای حمل شده از انبار A تا مرکز توزیع M در دوره زمانی T

ctc_{MUT} : ظرفیت مقدار کالای حمل شده از مرکز توزیع M تا مشتری U در دوره زمانی T

lw : مدت زمان انتظار تا رسیدن سفارش از کارخانه تا انبار

ld : مدت زمان انتظار تا رسیدن سفارش از انبار تا مرکز توزیع

lc : مدت زمان انتظار تا رسیدن سفارش از مرکز توزیع تا مشتری

شده و چه مقدار باید حمل شوند و تصمیم‌گیری در ارتباط با حرکت و مقصد اقلام تولیدی در طول برنامه‌ریزی افقی برای مدل تعیین‌شده هستند. با توجه به شرح مسئله، به تعریف متغیرها، مجموعه‌ها و عوامل مدل پرداخته می‌شود.

جدول 1: مجموعه‌ها و متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی (Sets & Decision Variables)**مجموعه‌ها:**

K : مجموعه‌ای از کارخانه‌های تولیدکننده را شامل می‌شود.

A : مجموعه‌ای از انبارها به عنوان تسهیلات نگهدارنده را شامل می‌شود.

M : مجموعه‌ای از مراکز توزیع برای دسترسی آسان‌تر مشتری را شامل می‌شود.

U : مجموعه‌ای از مشتریان را شامل می‌شود.

T : مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی را شامل می‌شود.

متغیرهای باینری:

x_{AT} : در صورتی که اگر انبار A از کارخانه در دوره زمانی T سفارش بگیرد، مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است.

y_{MT} : در صورتی که اگر مرکز توزیع M از انبار در دوره زمانی T سفارش بگیرد، مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است.

z_{UT} : در صورتی که اگر مشتری U از مرکز توزیع در دوره زمانی T سفارش بگیرد، مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است.

متغیرهای پیوسته:

ilw_{AT} : سطح موجودی انبار A در دوره زمانی T

ild_{MT} : سطح موجودی مرکز توزیع M در دوره زمانی T

oqw_{KAT} : مقدار حمل و نقل از کارخانه K به انبار A در دوره زمانی T

oqd_{AMT} : مقدار حمل و نقل از انبار A به مرکز توزیع M در دوره زمانی T

oqc_{MUT} : مقدار حمل و نقل از مرکز توزیع M به مشتری U در دوره زمانی T

مدل پیشنهادی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط

$$\begin{aligned} & Min \\ & \sum_{U,T} lsc_{UT} (dd_{UT} - (\sum_M oqc_{MUT})) + \sum_{A,T} (scw_{AT} x_{AT} \\ & + hcw_{AT} ilw_{AT}) + \sum_{M,T} (scd_{MT} y_{MT} + \\ & hcd_{MT} ild_{MT}) + \sum_{K,A,T} oqw_{KAT} tcw_{KAT} + \\ & \sum_{A,M,T} oqd_{AMT} tcd_{AMT} + \sum_{M,U,T} oqc_{MUT} tcc_{MUT} \end{aligned} \quad (1)$$

نشان داده شده است. محدودیت (9) سعی در حداکثر-سازی تأمین تقاضای مشتریان را دارد و ذکر می‌کند که مقدار حمل و نقل کالا از مراکز توزیع به مشتری نباید از تقاضای مشتری بیشتر باشد. اثر هزینه تجدید موجودی هنگامی که یک سفارش برای هر یک از تسهیلات زنجیره رخ بدهد در محدودیت‌های (10) تا (12) بیان می‌شود. محدودیت‌های (13) الی (15) درباره ظرفیت مسیرهای حمل بحث می‌کند. محدودیت‌های (16) الی (18) موارد مربوط به متغیرها را نشان می‌دهد. مدل ریاضی پیشنهادی در این مقاله، مبنای کار خود را مقاله یونگ هون لی و همکاران [21] قرار داده است و در چندین مورد با اضافه کردن عواملی، تغییرات اساسی در آن به وجود آورده و مدل را بهبود داده است که به تشریح موارد بهبوددهنده آن با عنوان نوآوری‌های مسئله خواهیم پرداخت:

1. استفاده از عامل هزینه‌ای به نام "هزینه فروش ازدست رفته" در مدل ریاضی و گنجانیدن آن در تابع هدف مدل از نوآوری‌های جدید در این حوزه کاری به شمار می‌آید که به عنوان جمله اول تابع هدف آورده شده است. زیرا در مقالات و آثار پژوهشی و همچنین مقاله [21] که تا امروز در این زمینه کار شده‌اند، به این موضوع پرداخته نشده است. دلیل استفاده از این هزینه، تلاش در جهت کاهش تأخیرها و کمبودها است که هر قدر در حداقل‌سازی این عامل حرکت کنیم، حداکثرسازی رضایت مشتری، تولیدکننده و توزیع‌کننده را شاهد خواهیم بود.

2. مقاله شماره [21] به این دلیل که کار خود را محدود کند تا بتواند به راحتی مدل را حل کند، به سراغ تأخیرها و کمبودها نرفته است. به همین منظور همه مقادیر حمل و نقل کالا از مراکز توزیع به مشتری را برابر با تقاضای مشتری در نظر گرفته است؛ در حالی که در واقعیت این چنین نیست، در نتیجه برای بهبود مدل علاوه بر در نظر گرفتن هزینه فروش ازدست‌رفته با اضافه کردن محدودیت (9) گامی در جهت کاربردی کردن مدل برداشته‌ایم.

3. متغیر oqc_{MUT} از جمله متغیرهای پیوسته و اصلی مدل به شمار می‌آید که با توجه به استفاده از هزینه فروش ازدست‌رفته در مدل نسبت مقاله شماره [21]، در این مدل نقش ویژه‌ای یافته است. به طوری که

subject to :

$$ilw_{A,T-1} + \sum_K oqw_{KAT} - ilw_{AT} \quad \forall A, T \quad (2)$$

$$= \sum_M oqd_{A,M,T+ld}$$

$$ild_{M,T-1} + \sum_A oqd_{AMT} - ild_{MT} \quad \forall M, T \quad (3)$$

$$= \sum_U oqc_{M,U,T+lc}$$

$$\sum_A oqw_{K,A,T+hw} \leq cpf_{KT} \quad \forall A, T \quad (4)$$

$$\sum_K oqw_{KAT} + ilw_{AT} \leq cpw_{AT} \quad \forall A, T \quad (5)$$

$$\sum_M oqd_{A,M,T+ld} + ilw_{AT} \leq cpw_{AT} \quad \forall A, T \quad (6)$$

$$\sum_A oqd_{AMT} + ild_{MT} \leq cpd_{MT} \quad \forall M, T \quad (7)$$

$$\sum_U oqc_{M,U,T+lc} + ild_{MT} \leq cpd_{MT} \quad \forall M, T \quad (8)$$

$$\sum_M oqc_{MUT} \leq dd_{UT} \quad \forall U, T \quad (9)$$

$$\sum_K oqw_{KAT} \leq Big M \times x_{AT} \quad \forall A, T \quad (10)$$

$$\sum_A oqd_{AMT} \leq Big M \times y_{MT} \quad \forall M, T \quad (11)$$

$$\sum_M oqc_{MUT} \leq Big M \times z_{UT} \quad \forall U, T \quad (12)$$

$$oqw_{KAT} \leq ctw_{KAT} \quad \forall K, A, T \quad (13)$$

$$oqd_{AMT} \leq ctd_{AMT} \quad \forall A, M, T \quad (14)$$

$$oqc_{MUT} \leq ctc_{MUT} \quad \forall M, U, T \quad (15)$$

$$x_{AT}, y_{MT}, z_{UT} \in \{0,1\} \quad \forall A, M, U, T \quad (16)$$

$$oqw_{KAT}, oqd_{AMT} \quad \forall K, A, M, U, T \quad (17)$$

$$, oqc_{MUT} \geq 0$$

$$ilw_{AT}, ild_{MT} \geq 0 \quad \forall A, M, T \quad (18)$$

جمله اول تابع هدف¹² (1) هزینه فروش ازدست‌رفته بابت تقاضای ارضا نشده مشتریان را کاهش می‌دهد. جمله‌های دوم و سوم تلاش دارند تا هزینه نگهداری کالا و هزینه تجدید موجودی در شبکه توزیع را برای انبارها و مراکز توزیع کمینه کنند و جمله‌های چهارم تا ششم هزینه حمل و نقل محصولات در این شبکه توزیع را کاهش می‌دهند. محدودیت‌های (2) و (3) برای انبارها و مراکز توزیع و برای تعادل مقدار کالای ورودی و خروجی عمل می‌کنند. ویژگی‌های ظرفیت تسهیلات زنجیره مانند مراکز توزیع، کارخانه و انبارها در محدودیت‌های (4) تا (8)

متناسب حرکت می‌کنند. الگوریتم ژنتیک نیز از همین اصول استفاده کرده است، به طوری که ایده اولیه شکل‌گیری آن از نظریه داروین بوده و بر پایه قانون ژنتیک کار می‌کند.

رچینبرگ در سال 1960 توانست برای این الگوریتم محاسبات تکاملی‌تری را ارائه دهد. اما طراحی گام‌های اولیه برای الگوریتم ژنتیک در دانشگاه میشیگان در سال 1962 توسط هلند و همکارانش انجام شد. برای آشنایی بیشتر با الگوریتم ژنتیک به [23] مراجعه شود.

در یک نگاه کلی، الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از جواب‌ها که با کروموزوم‌ها به نمایش در می‌آیند، آغاز می‌شود. این مجموعه را جمعیت اولیه می‌گویند. جمعیت‌های بعدی با استفاده از جواب‌های جمعیت قبلی خود به دست می‌آیند. فرآیند انتخاب برای به دست آوردن جمعیت جدید از بین جمعیت گذشته توسط تابع برازندگی و تعیین مقدار مطلوبیت آنها شکل می‌گیرد. در نتیجه جواب‌هایی برای ادامه انتخاب می‌شوند که مطلوبیت بهتری نسبت به بقیه داشته باشند. این روند همین طور ادامه پیدا می‌کند تا شرایطی که از قبل مشخص شده است، حاصل شود. گام‌های کلی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در الگوریتم یک ارائه می‌شود.

برای آن یک محدودیت جدید که همان محدودیت (12) باشد، طراحی شده است که نشان می‌دهد مقدار حمل و نقل کالا از مراکز توزیع به مشتری، باید از یک مقدار بزرگ در صورتی که مرکز توزیع در دوره T سفارش بگیرد، کمتر باشد. در صورتی که در مقاله پایه این مورد دیده نشده بود.

4. همچنین محدودیت (8) برای مدل طراحی شد، زیرا مقدار حمل و نقل از یک مرکز توزیع به مشتریانی مختلف با رعایت لیدتایم به اضافه سطح موجودی مرکز توزیع در این زمان نباید بیشتر از ظرفیت مرکز توزیع موردنظر باشد، که با طراحی این محدودیت، نقصان این قسمت از مدل مقاله [21] نیز بر طرف شد؛ زیرا در این زمینه نیز در مقاله پایه، توجهی نشده بود.

الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

بیشتر اوقات مسائل درگیر با حوزه توزیع در شبکه زنجیره تأمین، ابعاد بزرگی دارند. همان طور که در مرور ادبیات به آن اشاره شد، برای حل این مسائل اغلب پیچیدگی‌های زیادی اتفاق می‌افتد. طبق طبقه‌بندی‌های مسائل موجودی و حمل و نقل، مدل‌های با چندین سطح مجزا که باید دامنه وسیعی از زنجیره تأمین را دربرگیرند و عوامل زیادی را در خود جای دهند، به سمت ساختار و فرمول‌بندی‌های بزرگ‌تر و پیچیده می‌روند و در مجموعه مسائل NP-hard جای می‌گیرند. همان طور که در بخش قبلی تشریح شد، مبنای مدل پیشنهادی، مدل مقاله شماره [21] است. با توجه به NP-hard بودن مدل پایه، مدل پیشنهادی ارائه شده در این مقاله نیز NP-hard است. در نتیجه روش‌های حل فراابتکاری برای یافتن جواب مناسب برای مدل، راه‌حل خوبی به نظر می‌رسد [22].

الگوریتم ژنتیک جزو کلاس الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی¹³ قرار دارد. این الگوریتم، بخصوص برای بهینه‌سازی مسایل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است [24]. این الگوریتم فراابتکاری در واقع از یک الگوریتم تکاملی¹⁴ منتج می‌شود که با روش‌های جستجو ادغام شده است تا در نهایت نتایج به دست آمده کیفیت خوبی داشته باشند. اصول الگوریتم‌های فراابتکاری بدین گونه بوده است که از رخدادهای طبیعی ایهام گرفته‌اند و به دنبال جواب‌های نزدیک به بهینه با زمانی

(GA) الگوریتم یک: الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

```

1 Begin
2 Determine: Parameters
3 Call: Initialize Population Strategy(algorithm 2)
4 Repeat For Iter=1 to Max Iteration
5 Call: Selection chromosome strategy(algorithm 3)
6 Call: Marriage strategy
7 Repeat For P=1 to Pop Size
8 If Marriage (P) > 0 then
9 Compare: Random with probability
10 Do Crossover(P)
11 Else
12 Do Random Mutation(P)
13 Else
14 Do Mutation(P)
15 End If
16 Call: Selection New Generation Strategy
17 Check Stop Condition
18 Call: Show Best Answer
19 End

```

قبول بودن و اینکه بتواند محدودیت‌های (10)، (16) و (17) را ارضا کند، امکان‌پذیر باشد. این مراحل برای همه متغیرهای مدل پیشنهادی انجام شد. در ادامه، الگوریتم تولید جواب آغازین را با هم مرور می‌کنیم.

(GA)	الگوریتم دو: الگوریتم تولید جواب آغازین
1	Begin
2	Repeat For $P=1$ to $Pop\ Size$
3	Repeat For $T=1$ to $Max\ Time$
4	Repeat For $K=1$ to $Max\ K$ For $A=1$ to $Max\ A$ For $M=1$ to $Max\ M$ For $U=1$ to $Max\ U$
5	Generate Matrix b
6	$bb = \min(b)$
7	$b_2 = bb * rand$
8	If $rand \geq S$ then
9	If $b_2 < lim$ then
10	$oqw_{KAT}, oqd_{AMT}, oqc_{MUT} = 0$
11	Else
12	$oqw_{KAT}, oqd_{AMT}, oqc_{MUT} = b_2$
13	End If
14	Else
15	$oqw_{KAT}, oqd_{AMT}, oqc_{MUT} = 0$
16	End If
17	Next: K, A, M, U
18	Generate $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$
19	Generate $f(p) = \text{sum}(f_1 \text{ to } f_6)$
20	Next: T
21	Next: P
22	End

همان طور که در الگوریتم دو آمده است، یک جواب قابل قبول برای متغیرهای oqw_{KAT} و oqd_{AMT} و oqc_{MUT} ... به دست می‌آید. در حلقه تکرار واقع در ردیف‌های 4 تا 16، الگوریتم تلاش می‌کند تا با رعایت موجه و قابل قبول بودن و با استفاده از تکنیک‌های ابداعی برای ارضای محدودیت‌های مدل، جوابی مطلوب تهیه کند. ردیف‌های 6 تا 15 موجه بودن جواب را بررسی می‌کنند. همچنین جواب‌های به دست آمده در قسمت‌های مختلف تابع، هدف قرار می‌گرفته و یک جواب برای تابع هدف

همان طور که نشان داده شد، الگوریتم در ابتدا پس از تعریف عوامل مدل (ردیف 2) قصد دارد جواب قابل قبول اولیه‌ای را برای مدل به دست آورد که در ردیف 3 اشاره شده است. در ادامه الگوریتم با توجه به تعداد تکرارها سعی دارد تا جواب مناسب را به دست آورد. ردیف 4 تا 18 این مطلب را عنوان می‌کند. ویژگی الگوریتم ژنتیک که همان تولید نسل با توجه به انتخاب دو والد و در نتیجه تولید فرزند جدید است، در ردیف 5 و 6 ذکر شده است. با هر بار تکرار الگوریتم، یک جمعیت جدید توسط عملگرهای تقاطع و جهش، بسته به احتمال هر یک از آن-ها برای دستیابی به جواب نهایی ایجاد می‌شود که در ردیف 7 تا 15 الگوریتم نشان داده شده است. در پایان، الگوریتم وظیفه دارد مناسب‌ترین جواب حاصل را که بهترین جواب برای مدل در همه نسل‌ها و جمعیت‌ها است را نشان دهد که در ردیف 18 بیان شده است.

• روش‌های کدینگ

برای اجرای الگوریتم ژنتیک، ابتدا باید کروموزوم‌ها را تعریف و آن‌ها را کدگذاری¹⁵ کرد. شیوه‌های کدگذاری را می‌توان در دو نوع رشته‌ای¹⁶ و غیررشته‌ای تقسیم‌بندی کرد. اگر عناصر رشته از مقادیر دیگری تشکیل شده باشند، با رشته غیر دوبه‌دویی مواجه می‌شویم که این نوع کدینگ در مسائل بهینه‌سازی کاربرد بسیار کمی داشته و فقط در مسائل خاصی از آن استفاده می‌شود. برای حل مدل پیشنهادی برای کدینگ جواب از روش ماتریسی استفاده شده است. هر یک از متغیرهای استفاده شده در مدل مانند oqw_{KAT} و ilw_{AT} و ... چندین بُعد دارند و به همین دلیل ماتریس‌های آن‌ها نیز چند بُعدی هستند.

• ایجاد جمعیت اولیه

در این پژوهش برای ایجاد جواب اولیه، اقدام به طراحی ماتریس‌هایی شد تا بتوان محدودیت‌های مدل را به صورت مطلوب پاسخگو بود. در مورد متغیر oqw_{KAT} ماتریسی تشکیل شد تا محدودیت‌های (13)، (5) و (4) مدل پیشنهادی را به طور کامل پوشش دهد. در این ماتریس طراحی درایه‌ها به نحوی بود که oqw_{KAT} این توانایی را داشته باشد تا پس از ارضای محدودیت‌های ذکر شده جواب مطلوب را به دست آورد. برای جواب به دست آمده تکنیک‌هایی ایجاد کردیم تا از نظر موجه و قابل

17 ■ عملگر تقاطع

در این بخش دو یا چند کروموزوم را انتخاب و بخشی از ژن‌هایشان را برای تولید نسل بعدی ترکیب می‌کنیم. این عملیات، تقاطع نام دارد و هدف آن این است که کروموزوم‌های جدید قسمت‌های مطلوب کروموزوم‌های قبلی را داشته باشند تا این احتمال که کروموزوم‌های جدید کارآیی بهتری داشته باشند، بیشتر شود. مکانیزم این عملگرها بسته به نوع مدل و مسئله تغییر می‌یابد و به صورت تجربی انجام می‌گیرد که قابلیت طراح در آن تأثیرگذار است.

پس از تعیین احتمال مورد نظر، در صورتی که شرایط احتمال برقرار باشد، با تمرکز بر متغیرهای $oq_{w_{kAT}}$ و متغیرهای ilw_{AT} تلاش می‌کنیم جای آن‌ها را با متغیرهایی از جنس خودشان تغییر دهیم، زیرا با تغییر این متغیرها، متغیرهای دیگر نیز به طور خودکار تغییر می‌کنند. در نتیجه عملگر تقاطع بر کل مدل تأثیر می‌گذارد. در ادامه، جواب‌ها را پس از اجرای عملگر تقاطع از نظر موجه و قابل قبول بودن بررسی می‌کنیم.

18 ■ عملگر جهش

قبل از آنکه کروموزوم‌ها در نسل بعدی قرار بگیرند، احتمال دارد دچار جهش یا تغییر ناگهانی شوند. جهش، یک تغییر ناگهانی در ژن است [24]. عملیات جهش برای جلوگیری از قرارگیری الگوریتم ژنتیک در مشکل بهینه محلی استفاده می‌شود. بنابراین فرصت برای تولید مثل متغیرهای دیگر و یا امکان جستجوی دیگر فضاهای حل که قابلیت کمتری دارند نیز فراهم می‌شود. در مدل پیشنهادی برای عملگر جهش به سراغ متغیرهای ilw_{AT} و ild_{MT} رفته و روی ژن یا عناصر آن‌ها تمرکز می‌کنیم و در ادامه قابل قبول و موجه بودن آن‌ها را نیز بررسی می‌کنیم.

الگوریتم ترکیبی (هیبریدی)

از جمله مزایای الگوریتم‌های فراابتکاری این است که می‌توان آن‌ها را با هم ترکیب کرد. این مورد زمانی اهمیت پیدا می‌کند که هنگام حل مدل‌ها فقط با یکی از روش‌های فراابتکاری، به یک سری از نقاط ضعف روش حل خود پی می‌بریم و در این فکر هستیم که با یک سری از

حاصل می‌شود. این مطلب در ردیف 18 تا 19 نشان داده شده است.

• انتخاب جواب‌های هر جمعیت

در این بخش، به ارزیابی جواب‌های جمعیت موجود می‌پردازیم و با تعیین معیار یا قاعده‌ای، مشخص می‌کنیم که کدام یک از جواب‌ها شرایط مناسب‌تری در جمعیت دارند.

در این مقاله برای ارزیابی جواب‌ها، الگوریتم سه ارائه شده است:

(GA) الگوریتم سه: الگوریتم انتخاب جواب

```

1  Begin
2  Determine: Parameters
3  Repeat For Iter=1 to Max Iteration
4    Repeat For P=1 to Pop Size
5    Replace Parameters
6    Repeat For i=1 to Pop
7      If Prob >= (sum(fd(1 to i-1)) /
        (sum(fd))) and
        Prob <= (sum(fd(1 to i)) / (sum(fd)))
8        then
9          Select i
10         Break
11    End If
12    Replace New Variables
13  End

```

عملگرهای ژنتیکی

برای انتقال ژن‌ها برای تولید فرزندان جدید در هر نسل از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. همان طور که در الگوریتم یک نشان داده شد، در مدل پیشنهادی خود از دو عملگر جهش و تقاطع به طور موازی استفاده می‌کنیم. یعنی در تولید کروموزوم‌های جدید یا فرزندان، یکی از دو عملگر ایفای نقش می‌کنند که باعث می‌شود از تولید جواب‌های غیر موجه جلوگیری شود، زیرا استفاده سری از دو عملگر با وجود تولید جواب‌های مختلف، به علت به دست آوردن جواب‌های غیر موجه، مشکل‌ساز خواهد بود.

برای بررسی نحوه عملکرد روش‌های حل مدل پیشنهادی، در ابتدا باید از تعدادی نمونه مسئله با اندازه و ابعاد مختلف در فضای زنجیره تأمین چندسطحی استفاده کرد و در ادامه، نتایج حاصل از حل این نمونه‌ها را به وسیله الگوریتم‌های مختلف تجزیه و تحلیل کرد. همه محاسبات کامپیوتری این قسمت به کمک یک رایانه با پردازشگر Corel Duo 2GHZ و حافظه 1024MB در شرایط یکسان انجام شده است. در همین رابطه، سه گروه مسئله با خصوصیات مختلف از سیستم توزیع در زنجیره تأمین انتخاب کردیم. برای انتخاب نمونه مسائل سعی شده است که از مقالات استاندارد که در نشریات معتبر به چاپ رسیده‌اند، استفاده شود که بر این اساس مسائل ارائه‌شده از مجموعه مسائلی هستند که در مقاله یونگ هون لی و همکاران [21] که در مرور ادبیات به آن اشاره شد، به کار گرفته شده است. جدول سه، نتایج محاسباتی عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و الگوریتم ترکیبی پیشنهادی را برای حل نمونه مسائل بیان می‌کند. حروف به کار رفته در جدول، مُعرف سطوح مختلف زنجیره تأمین است. حرف F مُعرف تولیدکنندگان و کارخانجات، حرف WH نمایانگر بخش انبارها، حرف DC نشانگر مراکز توزیع و حرف C به معنای مشتریان است. همچنین OFV به معنای مقدار عددی تابع هدف مدل و Run Time مدت زمان اجرای آن است. قابل توجه است که در جدول زیر شکاف بهینگی مطابق با رابطه یک به دست آمده است.

$$\text{Gap\%} = \frac{GA \text{ OFV} - GS \text{ OFV}}{GS \text{ OFV}} \times 100\% \quad (\text{رابطه 1})$$

در رابطه بالا منظور از GA استفاده از الگوریتم ژنتیک و GS بیانگر استفاده از الگوریتم ترکیبی، ژنتیک-شبه‌سازی تبرید است. همچنین شایان ذکر است که نتایج داده‌شده در جدول با اجرای بیست بار برنامه برای هر یک از نمونه مسائل تهیه شده است و نتایج بار اول از حل مسائل در جدول درج نشده است. همچنین در شکل‌های (1) و (2) نمودارهای ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای مسئله آخر ارائه می‌شود.

تکنیک‌هایی، آن مشکلات را بر طرف کنیم [25]. تلاش داریم در این بخش با کمک گرفتن از دو الگوریتم حل مدل ژنتیک و شبه‌سازی، یک الگوریتم ترکیبی برای حل مدل پیشنهادی ارائه دهیم.

• ساختار الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

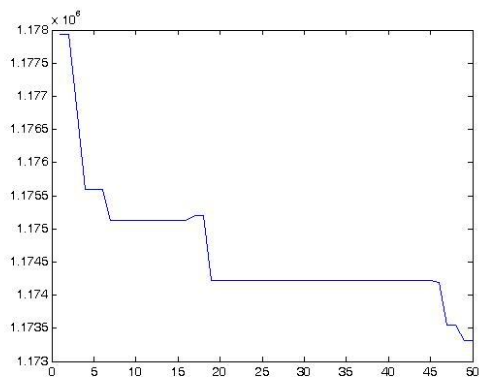
الگوریتم ترکیبی مورد استفاده در این مقاله، قصد دارد برای یافتن جواب اولیه، از مکانیزم الگوریتم ژنتیک استفاده کند و از جواب حاصل از آن به عنوان جواب آغازین در الگوریتم شبه‌سازی تبرید بهره گرفته و از این طریق هر چه بیشتر به جواب مطلوب نزدیک‌تر شود. از ساختار الگوریتم ترکیبی مورد استفاده مشاهده می‌شود که همگرایی آن ثابت شده است، زیرا در مکانیزم خود از دو الگوریتم شناخته شده کمک گرفته است. دلیل آن نیز مشخص است، زیرا الگوریتم ژنتیک برای یافتن جواب، محدوده‌ای از فضای حل مسئله را مورد کنکاش قرار داده و در نتیجه نقاطی از فضای موجه مسئله که کمتر به آن توجه می‌شود را مورد بازرسی قرار می‌دهد که باعث می‌شود شانس یافتن جواب مناسب اولیه بیشتر شود. در ادامه الگوریتم ترکیبی این جواب را به الگوریتم شبه‌سازی تبرید می‌سپارد تا با بهره‌گرفتن از تولید جواب‌های همسایه و بررسی فضاهاى پیرامون، بتواند هر چه بیشتر به سمت جواب بهینه حرکت کند. الگوریتم چهار، مطالب بالا را به زبان ساده بیان می‌کند.

الگوریتم چهار: الگوریتم ترکیبی پیشنهادی (GS)

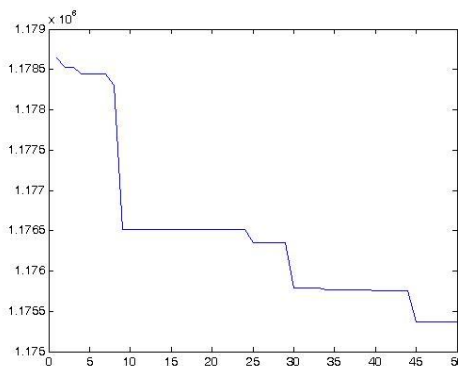
1	Begin
2	Determine Parameters
3	Generate Initial solution by Genetic Algorithm
4	Repeat For $i=1$ to Max ST
5	Generate New neighborhood solution by Simulated Annealing Algorithm
6	Check Stop Condition
7	Show Best answer
8	End

جدول 3: خلاصه نتایج محاسباتی ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

Gap%	GS		GA		Time	Facilities				Cases	Groups
	Run time(S)	OFV	Run time(S)	OFV		C	DC	WH	F		
8/32	8	8614	4	9331	4	3	2	2	1	1	Small Models
34/21	29	11150	5	14965	4	4	2	2	2	2	
33/68	38	13492	6	18036	4	5	4	3	2	3	
0/34	41	20998	15	21069	4	7	6	4	3	4	
0/61	52	30193	22	30375	4	9	7	5	4	5	
3/62	62	78512	14	81355	4	20	4	3	3	1	Medium Models
1/91	47	87396	14	89065	4	20	5	1	4	2	
0/7	379	370880	81	373480	4	50	12	6	2	3	
0/68	312	361270	67	363710	4	50	10	4	8	4	
0/92	292	366970	63	370350	4	50	10	2	8	5	
0/26	583	485870	383	487120	4	70	14	8	8	1	Large Models
0/43	574	497440	371	499600	4	70	15	3	12	2	
-0/001	671	1190700	438	1190600	4	100	12	6	2	3	
0/31	555	1176400	364	1180000	4	100	10	4	6	4	
0/20	465	1173300	307	1175600	4	100	8	6	6	5	



شکل 2: نمودار عملکرد الگوریتم ترکیبی



شکل 1: نمودار عملکرد الگوریتم ژنتیک

نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج به دست آمده از حل نمونه مسائل توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و الگوریتم ترکیبی، این نتیجه به دست می‌آید که در چهارده مورد از پانزده نمونه مسئله حل شده، الگوریتم ترکیبی، عملکرد بهتری داشته و در یک مورد، الگوریتم ژنتیک، جواب با کیفیت تری را ارائه داده است. دلیل این موضوع نیز منطقی است، چون الگوریتم ترکیبی جواب به دست آمده از الگوریتم ژنتیک را با مکانیزمی که برایش طراحی شده بود، به الگوریتم شبیه‌سازی تبرید می‌سپرد تا بهبود بیشتری برای جواب یافت شود. متوسط شکاف بهینگی در چهارده مورد نمونه مسئله‌ای که الگوریتم ترکیبی در حل آن‌ها عملکرد بهتری

داشته 5/8 درصد بوده است. همچنین زمان حل همه نمونه مسائل حل شده توسط الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم ترکیبی کمتر بوده است. بنا به محاسباتی ساده می‌توان به این نتیجه رسید که زمان حل مسائل حل شده توسط الگوریتم ژنتیک حدود 48 درصد کمتر از متوسط زمان حل آن‌ها توسط الگوریتم ترکیبی است. در نتیجه با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله و پیچیده‌تر شدن مدل، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته و در زمان مناسب‌تری به جواب نزدیک به بهینه می‌رسد و به طور متقابل برای ابعاد متوسط و کوچک، الگوریتم ترکیبی جواب‌های با کیفیت تری ارائه می‌دهد.

مراجع

- 1- Ganeshan, Ram, and Terry, P.Harrison, (1995). "An Introduction to Supply Chain Management." *Department of Management Sciences and Information Systems*, 303 Beam Business Building, Penn State University Park, PA.
- 2- Ellarm, L. (1991). "Supply Chain Management: The Industrial Organizational Perspective." *International Journal of Physical Distribution Management & Logistic Management*. No.1.
- 3- James, B. Ayers, (2001). "Handbook of Supply Chain Management." et al., Luice, APICS, Newyork.
- 4- Hugos, M. (2006). "Essentials of supply chain management." *Adine publishing*.
- 5- Chopra, S. (2001). "Designing the Distribution Network in a Supply Chain." *Kellogg School of Management, Northwestern University*.
- 6- Thomas, D.J. and Griffin, P.M. (1996). "Coordinated Supply Cgain Management." *European Journal of Operations Research*, 94, PP. 1-15.
- 7- Banerjee, A. (1986). "On 'A quantity discount pricing model to increase vender profits.'" *Management Science*, Vol. 32, PP. 1513-1517.
- 8- Goyal, S.K. (1977). "An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem." *International Journal of Producyion Research.*, Vol. 15, PP. 107-111.
- 9- Monahan, J.P. (1984). "A quantity discount pricing model to increase vender profits." *Management Science*, Vol. 30, PP. 720-726.
- 10-Kohli, R. and Park, H. (1989). "A cooperative game theory model for quantity discount." *Management Science*, Vol. 35, PP. 693-707.
- 11-Eksioglu, S.D., Eksioglu, B. and Romeijn, H.E. (2007). "A Lagrangean heuristic for integrated production and transportation planning problems in a dynamic, multi-item, two-layer supply chain." *IIE Transactions* 39, 191-201.
- 12-Liang, T.F. and Cheng, H.W. (2009). "Application of fuzzy sets to manufacturing/ distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chain." *Expert systems with applications* 36(2), 3367-3377.
- 13-Boudia, M. and Prins, C. (2009). "A memetic algorithm with dynamic population management for an

- integrated production-distribution problem.” *European Journal of Operational Research* 195, 703-715.
- 14-Harris, F.W. (1913). “How Many Parts To Make At Once Factory.” *The Magazine of Management* 1(2), 135-136.
- 15-Wagner, H.M. and Whitin, T. (1958). “Dynamic Version of the Economic Lot Size Model.” *Management Science* 5(1), 89-96.
- 16-Manne, A. S. (1958). “Programming of Economic Lot Sizes.” *Management Science* 4(2), 115-135.
- 17-Syam, S.S. (2002). “A model and methodologies for the location problem with logistical components.” *Computers & Operations Research* 29, 1173-1193.
- 18-Weng, Z.K. (1995). “Channel coordination and quantity discount.” *Management Science*, Vol. 41, pp. 1509-1522.
- 19-Viswanathan, S. and Piplani, R. (2001). “Coordinating supply chain inventories through common replenishment epochs.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, PP. 277-286.
- 20-Cheung, L. (1998). “A continuous review inventory model with a time discount.” *IIE Transactions*, Vol 30, PP. 747-757.
- 21-Lee, Y.H., Kang, K.H. and Lee, B.K. (2008). “Decomposition heuristic to minimize total cost in a multi-level supply chain network.” *Computers & Industrial Engineering* 54, 945-959.
- 22-Moscato, P. and Cotta, C. (2003). “A Gentle Introduction to Memetic Algorithms.” *Kluwer Academic Publishers Group*, Handbook of Metaheuristics, Chap 5, 105 -144, Dordrecht.
- 23-Haupt, Randy.L. and Haupt, Sue. E. (2004). “Practical Genetic Algorithms.” *Second Edition*, Wiley Interscience by Wiley.J, New Jersey, Published Simultaneously in Canad.
- 24-Alam Tabriz, A. (2006). “Meta-heuristic algorithms in Combination Optimization.” *Saffar publishing*.
- 25- Gen, M. and Cheng, R. (2000). “Genetic algorithms and engineering optimization.” *Wiley Interscience by Wiley.J & Sons, New York*.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Supply Chain Network
- 2- Warehouse
- 3- Distribution Center
- 4- Inventory Holding Cost
- 5- Transportation Cost
- 6- Lost Sale Cost
- 7- Setup Cost
- 8- Buyer-Vender Coordination
- 9- Production-Distribution Coordination
- 10-Inventory-Distribution Coordination
- 11-Logistic Cost
- 12-Objective Function
- 13-Random Optimization Algorithms
- 14-Evolutionary Algorithm
- 15-Encoding
- 16-String Coding
- 17-Crossover
- 18- Mutation