

طراحی تبیین مدل قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین چهار سطحی حلقه بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت در صنعت کاغذ

مهدی عزیزاده‌برمی^۱، محمدعلی افشارکاظمی^{۲*}، محمدعلی کرامتی^۳، عباس طلوعی اشلقی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

^۳ دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۴ استاد، گروه مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۲، اصلاحیه: بهمن ۱۴۰۲، پذیرش: اسفند ۱۴۰۲

چکیده

اخیراً زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با توجه به تأثیرشان بر زندگی انسان مورد توجه قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر در صنعت بسته‌بندی، با در نظر گرفتن کاغذ به عنوان ماده اولیه و فسادپذیر به دلیل ماهیت جذب آب، پوسیدگی شدید در مقابل نور آفتاب، اشتعال‌پذیری و خاکستر شدن و در نهایت تأثیر بر کیفیت نهایی محصول تولیدشده از این موضوع مستثنی نبوده است. سطح بالای سرعت تغییرات و ابهام در تصمیمات، پیش‌بینی شرایط آینده زنجیره‌های تأمین را به امری غیرممکن مبدل ساخته است. از این‌رو، طراحی و استفاده از یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته، با در نظر گرفتن قیمت‌گذاری بهینه محصولات، نرخ بازگشت و تقاضا همراه با در نظر گرفتن هدر رفت مواد در سیستم به شدت مورد نیاز است. در ابتدا زنجیره تأمین صنعت کاغذ-کارتن طراحی و با برنامه‌ریزی آمیخته عدد صحیح مدل‌سازی شده، سپس با توجه به حجم بالای محاسبات و داده‌های مسئله و همچنین عدم توانایی رویکردهای حل دقیق، رویکرد فرا ابتکاری جستجوی هارمونی جهت حل مدل استفاده گردیده است. مسئله یک مدل تک هدفه بوده که هزینه‌های سیستم را با لحاظ نمودن ملاحظات زیست‌محیطی حداقل می‌نماید. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که افزایش قیمت دارای تأثیر مثبت بر نرخ بازگشت محصول و کاهش سطح فساد محصول دارد. در انتها برای اعتبارسنجی مدل، حل عددی یک شبکه حلقه بسته در این صنعت ارائه گردیده است.

واژه‌های اصلی: زنجیره تأمین حلقه بسته؛ مدل‌سازی حلقه بسته؛ برنامه‌ریزی مختلط؛ الگوریتم فراابتکاری؛ جستجوی هارمونی

۱- مقدمه

در گذشته بیشتر فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین بر روی عملیات تولید و توزیع متمرکز بوده است. و هیچ گونه مطالعه‌ای در مورد تأثیر فرهنگ سازمانی برای ارتقا زنجیره تأمین در نظر گرفته نمی‌شد اما رفته رفته با تغییر الگوی ارتباطات سازمانی مفهوم زنجیره تأمین بین کارفرمایان جلوه ویژه‌ای یافت زیرا با برقراری ارتباطات کارآمد و هماهنگ در فرایند کارآفرینی عملکرد سازمان در تمامی سطوح از جمله زنجیره تأمین ارتقا یافته و قابلیت رقابت پذیری شرکت‌ها به طرز قابل ملاحظه‌ای ارتقا می‌یابد. [۱].

در گذشته زنجیره تأمین همواره مستقیماً طبق یک مسیر از تأمین‌کنندگان رو به تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان در نظر گرفته می‌شد. اما در دهه‌های اخیر، توجه به مسائل زیست‌محیطی، الزامات قانونی و منافع اقتصادی حاصل از فعالیت‌های بهبود و بازسازی محصول، بسیاری از شرکت‌های بزرگ را به انجام فعالیت‌هایی از

جمله جمع‌آوری، احیا یا بازیافت محصولاتی که در انتهای زنجیره‌های تأمین یا سیکل زمانی مفید خود هستند و داشت، که این امر منجر به ایجاد یک جریان تحت عنوان جریان معکوس در زنجیره تأمین گردید. چنین شرکت‌هایی به دست‌آوردهای بزرگی در کاهش هزینه‌های تولیدی خود رسیدند، بر همین اساس تلاش‌هایی برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بسته سه عاملی با در نظر گرفتن سه عامل سود، محیط زیست و عوامل اجتماعی مورد بررسی قرار گرفت. و به این مهم منتج گردید که بهبود محصولات از این طریق نیاز به مواد اولیه با کیفیت بالا، مصرف انرژی و فضا برای دفع محصولات را کاهش می‌دهد. بنابراین از نظر تجاری، دارد [۶]. و از علوم مختلفی همانند نظریه گراف در تبیین و شناسایی مشکلات پیشروی زنجیره تأمین سبز کمک گرفتند تا با استفاده از رویکرد نظریه گراف، موانع و مشکلات مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنایع معدنی را تحلیل کنند و به تعیین راهکارها برای بهبود شرایط مدیریت زنجیره

¹ Harmony Search
*m_afsharkazemi@iauec.ac.ir

تأمین سبز کمک کنند[۱۶].

بر همین اساس به بررسی موانع و چالش‌های موجود در انتقال از اقتصاد خطی به دایره‌ای در صنعت لباس در سال ۲۰۱۷ پرداخته شد و چالش‌ها این حوزه مربوط به مسائل طراحی محصولات، مواد مورد استفاده، تولید پایدار و مدیریت زنجیره تأمین مورد بررسی قرار گرفت.

مقاله نهایتاً به اهمیت اقتصاد دایره‌ای در صنعت لباس تأکید می‌کند و به ارائه راهکارها و استراتژی‌هایی برای انجام این تحول می‌پردازد. این تحقیق به هدف تشویق صنعت لباس به استفاده از اقتصاد دایره‌ای و کاهش تأثیرات مخرب بر محیط‌زیست و جامعه می‌پردازد[۱۷].

بر همین اساس می‌توان گفت امروزه باور رایج به اینکه زنجیره تأمین ساختاری صاف و مستقیم در ارتباط با حرکت محصولات از مبدأ تا پایان مصرف دارد، در حال تغییر به زنجیره حلقه بسته است. از سوی دیگر با توجه به هزینه‌های بالای نگهداری کالا و اهمیت روزافزون سیستم‌های کنترل موجودی در زنجیره تأمین، مدیریت موجودی کالا را می‌توان به عنوان یکی از موضوعات حساس در تجارت و صنعت ذکر کرد، اما به دلیل شرایط خاص کالاهای فاسدشدنی، کنترل موجودی و مدیریت بهتر تقاضا برای این اقلام ضرورتی دوچندان دارد. بنابراین، تولیدکنندگان این محصولات می‌توانند با تأمین‌کنندگان مواد اولیه و خرده‌فروشان برای پاسخگویی به نگرانی‌های زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های سیستم با طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته و تحویل مناسب محصول به مشتری، جمع‌آوری اقلام خراب، تکثیر و فروش مجدد همکاری کنند، علاوه بر این، تمرکز بر مسائل زیست‌محیطی و مزایای اقتصادی بازیافت این فعالیت‌ها، توجه بیشتر به زنجیره تأمین معکوس را در پی داشته است. برای این منظور، ادغام طرح‌های شبکه لجستیک معکوس و مستقیم از اهمیت بالایی برخوردار است. [۱۲].

۲- مرور ادبیات

شبکه زنجیره تأمین پیشرو، زنجیره تأمینی است که مجموعه‌ای از سازمان‌های مرتبط که در معرض جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی قرار دارند، را در یک مسیر خاص قرار می‌دهد. این سازمان‌ها ممکن است شامل مؤسساتی باشند که مواد خام و محصولات تولید می‌کنند و یا خدماتی مانند توزیع، ذخیره‌سازی، عمده‌فروشی و خرده‌فروشی ارائه می‌دهند. در این محدوده، مشتریان نهایی در پایین‌ترین سطح زنجیره قرار دارند و باید به‌عنوان اعضای این سازمان‌ها محسوب شوند. از سوی دیگر، در زنجیره تأمین معکوس، کالاهای مصرف‌شده توسط کاربر نهایی به سمت مبدأ در حرکت‌اند. با این تعاریف می‌توان نتیجه گرفت که یک سیستم مدیریت زنجیره تأمین باید بر ادغام اعضای زنجیره از طریق تکنیک بهینه‌سازی تأکید کند. عامل کلیدی که باعث رضایت مشتریان و سود بیشتر و دستیابی به هزینه‌های کمتر زنجیره تأمین به‌طور هم‌زمان می‌شود، می‌تواند از طریق یکپارچه‌سازی سیستم محقق گردد. [۱۳].

مدل عملیاتی زنجیره تأمین به عنوان ابزار قدرتمندی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند به طور مؤثر تأثیر زنجیره را بر عملکرد و مدیریت عوامل تعیین‌کننده استراتژیکی و روابط آن‌ها درک و مطالعه کند. بنابراین، یک

زنجیره تأمین عملیاتی شامل تصمیمات استراتژیک و عملیاتی است. تصمیمات استراتژیک به تصمیمات بلندمدت سازمانی مربوط می‌شود و یک تا چند سال را پوشش می‌دهد که می‌توان این تصمیمات را در تصمیم‌گیری در مورد تعداد و مکان تأسیسات (محل)، وضعیت و ظرفیت انبارهای محصولات و جریان مواد در شبکه زنجیره تأمین گنجانند. تصمیمات عملیاتی تصمیمات بین سازمانی هستند و دوره‌ای از چند ماه تا یک سال را شامل می‌شوند. خرید، تولید، مطابقت بین ساخت و توزیع، تخفیف، موجودی و استراتژی‌های حمل‌ونقل زیرمجموعه این تصمیمات هستند.

سطح استراتژیکی فرض می‌کند که پیکربندی شبکه زنجیره تأمین قبلاً اجرا شده است. از آنجایی که ایجاد، شروع و بسته شدن تسهیلات فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است، تغییر آن در کوتاه‌مدت پس از تصمیم‌گیری‌های بلندمدت غیرممکن است. از سوی دیگر، تصمیمات عملیاتی توسط تصمیمات استراتژیک تعیین می‌شود. بنابراین، پیکربندی شبکه زنجیره تأمین یک محدودیت برای تصمیم‌گیری در سطوح عملیاتی و استراتژیکی تلقی می‌شود. [۱۰].

به دلیل اهمیت موضوع، مطالعات زیادی در مورد زنجیره تأمین حلقه بسته انجام شده است. مطالعات جامعی در مورد بررسی ادبیات زنجیره تأمین حلقه بسته و کاربردهای آن انجام شده و مدل‌های مختلفی را در ادبیات نشان دادند. [۱۵].

بعدها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه جامع که برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین حلقه بسته توسعه یافته است. در مدل پیشنهادی، مشتریان به سه گروه شامل مشتریان محصول جدید، مشتریان محصول بازاریابی شده و مشتریان مواد خام دسته‌بندی می‌شوند. [۳].

بابازاده^۲ و همکاران در تحقیقاتی دیگر به بررسی همزمان دو تابع هدف کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین و تحت کنترل قراردادن اثرات محیط زیستی در شرایط عدم قطعیت پرداختند[۴].

هو^۳ عدم قطعیت‌ها را مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که سیستم‌های تولید، دنیای واقعی را به دو گروه قابلیت تقسیم دارند: ۱- عدم قطعیت‌های محیطی و ۲- عدم قطعیت‌های سیستمی. در حوزه زنجیره تأمین، افق محیطی مربوط به عدم قطعیت تقاضا و عرضه است که ناشی از عملکرد تأمین‌کنندگان و رفتار مشتری است. عدم قطعیت سیستمی شامل عدم قطعیت در فرآیندهای تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازیافت، مانند عدم قطعیت در زمان تحویل، هزینه‌های تولید و ظرفیت واقعی روش‌های مختلف است. [۱۱]

. ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تأمین درجه بالایی از عدم قطعیت را بر تصمیمات برنامه زنجیره تأمین به‌وجود می‌آورد و تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد کل شبکه زنجیره تأمین دارد که اهمیت مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های ناشی از پارامترهای نامشخص در شبکه زنجیره تأمین دارد و موجب توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری مناسب برای غلبه بر پارامترهای نامشخص در مسائل طراحی شبکه شده است[۹].

² Babazadeh

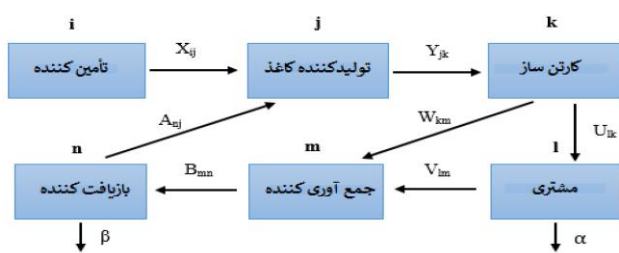
³ Hou

هزینه	تک محصولی	چند محصولی	چند دوره ای	حلقه بسته				
*	*	*	*	*	*	*	*	(Abdolazimi, et al, 2020)
*	*	*	*	*	*	*	*	(Babazadeh, 2018)
*	*	*	*	*	*	*	*	(Zegordi, et al, 2015)
*	*	*	*	*	*	*	*	(Linton, et al, 2007)
*	*	*	*	*	*	*	*	(امین ناصری، همکاران، ۱۳۹۸)
*	*	*	*	*	*	*	*	مطالعه حاضر

از آنجایی که ادبیات قیمت گذاری در شبکه زنجیره تأمین کارتن و کاغذ به صورت همزمان نادر است، از بررسی طراحی شبکه زنجیره تأمین کارتن و کاغذ با در نظر گرفتن عملیات بازیافت و بسته بودن زنجیره تأمین همراه با جنبه های اقتصادی غفلت شده است، این مطالعه مدلی برای کالاهای فاسدشدنی در محصولات زنجیره تأمین کارتن و کاغذ را ارائه می کند.

۳- متن

۳-۱ مدل



شکل (۱): نمای کلی از مساله

۳-۱-۱ اندیس ها

- $I: i \in \{1, \dots, I\}$: مجموعه تأمین کنندگان پیشنهادی
- $J: j \in \{1, \dots, J\}$: مجموعه تولیدکنندگان پیشنهادی
- $K: k \in \{1, \dots, K\}$: مجموعه سازندگان پیشنهادی
- $L: l \in \{1, \dots, L\}$: مجموعه مشتریان
- $M: m \in \{1, \dots, M\}$: مجموعه مراکز جمع آوری پیشنهادی
- $N: n \in \{1, \dots, N\}$: مجموعه مراکز بازیافتی پیشنهادی
- $P: p \in \{1, \dots, P\}$: مجموعه محصولات
- $T: t \in \{1, \dots, T\}$: دوره های زمانی

در ادامه تحقیقاتی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با ملاحظات زیست محیطی ارائه شده است و از مدل های غیرقطعی در زنجیره های تأمین حلقه بسته در این پژوهش ها استفاده گردیده است. برنامه ریزی استوار همواره یکی از راه های حل های مناسب در برخورد با عدم قطعیت ها مدل های ارائه شده بوده است. از همین رو دویکا^۴ و همکاران به بررسی بهینه سازی یک زنجیره تأمین حلقه بسته استوار چند سطحی پرداختند [۶]. و یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح مختلط^۵ برای یک شبکه لجستیک معکوس برای به حداقل رساندن هزینه زنجیره تأمین، انرژی و ضایعات باقیمانده در زنجیره تأمین حلقه بسته را در نظر گرفته شد، در تحقیقات پیرامون این مسئله یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه شد که برای حل مدل بهینه سازی و توسعه آن از نرم افزار CPLEX استفاده شده است [۱۴]. و بعد از آن یک مدل جدید برای یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بازیافت کالاهای فاسدشدنی برگشت پذیر ارائه شد که در آن پس از بررسی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت در وضعیت کیفیت محصولات بازگشتی به حل آن با استفاده از الگوریتم کاهش سناریو Lp-Shape می پردازد. نتایج کار آن ها نشان داد که هزینه های محصولات جدید را می توان زمانی کاهش داد که در زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی اقداماتی مؤثر و خاص در یک بازه برنامه ریزی شده انجام داد [۱۷].

عبدالعظیمی و همکاران یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای به حداقل رساندن هزینه کلی و به حداکثر رساندن استفاده از مواد سازگار با محیط زیست و فناوری پاک ایجاد کردند. مدل آن ها دیدگاهی جامع در مورد اهمیت انتخاب روش شناسی راه حل مناسب بر اساس بعد مسئله برای اطمینان از دستیابی به راه حل بهینه و دقیق در زمان پردازش منطقی ارائه می دهد [۲].

زگوردی و مخلصیان یک زنجیره تأمین شامل یک تولیدکننده و چند خرده فروش رقابتی را در نظر گرفتند که سازنده چندین محصول فاسدشدنی و قابل تعویض را تولید و ارائه کردند. از آنجایی که مدل های دو هدفه اغلب NP-HARD هستند، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده جهت حل مدل به کار گرفته شده است [۱۸].

در گذشته تحقیقت فراوانی پیرامون مسائل غیرقطعی با در نظر گرفتن بدترین حالت اجرا شد که در این مقالات، نویسندگان به بررسی مسائل برنامه ریزی در شرایط عدم قطعیت پرداخته اند. آنها روش هایی برای حل این مسائل تحت عدم قطعیت ارائه کرده و به تحلیل و بررسی امکانات بهینه سازی در این شرایط پرداخته اند. این مقالات از اهمیت بسیاری در حوزه بهینه سازی و مسائل عدم قطعیت برخوردارند و به توسعه روش های بهینه سازی در شرایط غیرقطعی پرداخته اند [۱].

جدول (۱): نمای کلی از پژوهش های صورت گرفته

نوع مسئله	تعداد متغیرها	تعداد مقادیر	نوع داده ها	نوع مدل	نوع روش حل
شبکه زنجیره تأمین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

^۴ Devika

^۵ MILP: Mixed Integer Linear Programming

^۶ Abdolazimi

^۷ Zegordi

^۸ Mokhlesian

۳-۱-۲ پارامترها

Z_m متغیر صفر و یک اگر در مرکز جمع‌آوری m ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.	F_i هزینه ثابت ایجاد تأمین‌کننده i ام
Z_n متغیر صفر و یک اگر در مرکز بازافت n ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.	F_j هزینه ثابت ایجاد تولیدکننده ثابت j ام
X_{ijpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده بین تأمین‌کننده i ام و تولید-کننده کاغذ p ام در دوره t ام	F_l هزینه ثابت برآورد نیاز مشتری l ام
Y_{jkpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از تولیدکننده کاغذ j ام به سازنده کارتن k ام در دوره t ام	F_k هزینه ثابت ایجاد سازنده k ام
U_{klpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از سازنده کارتن k ام به مشتری l ام در دوره t ام	F_m هزینه ثابت ایجاد مرکز جمع‌آوری m ام
W_{kmpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده بین سازنده کارتن k ام بین مرکز جمع‌آوری m ام در دوره t ام	F_n هزینه ثابت ایجاد مرکز بازافت n ام
V_{lmpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده بین مشتری l ام و مرکز جمع‌آوری m ام در دوره t ام	TSP_{ijp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین تأمین‌کننده i ام و تولیدکننده کاغذ j ام به ازای واحد محصول P ام
B_{mnpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از مرکز جمع‌آوری m ام به مرکز بازافت n ام در دوره t ام	TPM_{jkp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین تولیدکننده کاغذ j ام و سازنده کارتن k ام به ازای واحد محصول P ام
A_{njpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از مرکز بازافت n ام به تولیدکننده j ام در دوره t ام	TMC_{klp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین سازنده کارتن k ام و مشتری l ام به ازای واحد محصول P ام
INV_{kpt} موجودی محصول p ام در سازنده کارتن k ام در دوره t ام	$TMCO_{kmp}$ هزینه واحد حمل‌ونقل بین سازنده k ام و مرکز جمع‌آوری m ام به ازای واحد محصول P ام
INV_{ltp} موجودی محصول p ام نزد مشتری l ام در دوره t ام	TCC_{lmp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین مشتری l ام و مرکز جمع‌آوری m ام به ازای واحد محصول P ام
DIS_{ltp} تعداد محصول p ام از مشتری l ام که به زنجیره تأمین بر نمی‌گردد.	TCR_{mnp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین مرکز جمع‌آوری m ام و بازافت-کننده n ام به ازای واحد محصول P ام
SH_{ltp} مقدار کمبود محصول p ام برای مشتری l ام در دوره t ام	TRP_{njp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین بازافت‌کننده n ام و مرکز تولید j ام به ازای واحد محصول P ام
DIS_{ntp} تعداد محصول p ام از مرکز بازافت n که به زنجیره تأمین بر نمی‌گردد	h_{ip} هزینه نگهداری واحد محصول p ام در تأمین‌کننده i ام
D_{ltp} مقدار کمبود محصول p ام برای مشتری l ام در دوره t ام	h_{jp} هزینه نگهداری واحد محصول p ام در تولیدکننده j ام
	h_{kp} هزینه نگهداری واحد محصول p ام در سازنده k ام
	h_{lp} هزینه نگهداری واحد محصول p ام در مشتری l ام
	CAP_{ip} ظرفیت تأمین‌کننده i برای محصول خام p
	CAP_{jp} ظرفیت مرکز تولید j برای محصول نهایی p
	CAP_{kp} ظرفیت سازنده k برای محصول نهایی p
	CAP_{lp} ظرفیت مشتری l برای دریافت محصول p
	CAP_{mp} ظرفیت مرکز جمع‌آوری m برای جمع‌آوری محصول p
	CAP_{np} ظرفیت مرکز بازافت n برای جمع‌آوری بازافت محصول p
	α_{ltp} درصد محصول p برای مشتری l که به زنجیره تأمین بر نمی‌گردد
	π_{ltp} هزینه کمبود محصول p برای مشتری l در دوره t
	β_{np} درصد محصول p از مرکز بازافت n که به زنجیره تأمین باز نمی‌گردد

۳-۱-۴ متغیرهای جستجوی هارمونی

Ψ یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال جهت تنظیم گام $(-1 \leq \Psi \leq 1)$
Λ یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال برای انتخاب استراتژی آپدیت حافظه جستجوی هارمونی $(0 \leq \Lambda \leq 1)$
ξ تابع جریمه
M عدد بزرگ (ضریب جریمه)
ϕ انطباق با یک تابع هدف
α حداکثر تعداد تکرار بعد از به‌روزرسانی بهترین جواب
hms اندازه حافظه هارمونی
$hmcr$ نرخ حافظه در نظر گرفته شده هارمونی
Par نرخ گام تنظیم
Bw عرض باند فاصله
$Pribp$ قیمت خرید مواد خام از تأمین‌کننده مواد اولیه محصول نوع p ام.
$Mibpt$ ضریب جریمه زمانی که ماده خام بین i و j نباید جابه‌جا شود.

۳-۱-۳ متغیرهای تصمیم

Z_i متغیر صفر و یک اگر در مرکز تأمین i ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
Z_j متغیر صفر و یک اگر در مرکز تولید کاغذ j ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
Z_k متغیر صفر و یک اگر در مرکز تولید کارتن k ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
Z_l متغیر صفر و یک که همواره برابر یک است زیرا اید تمامی مشتریان

۳-۱-۵ مدل اصلی مسئله

زمان چندجمله‌ای هستند. این مسائل قابل حل با الگوریتم‌های قطعی با زمان چندجمله‌ای نیستند.

این مقاله یک الگوریتم جستجوی هارمونی را برای بهبود راه حل از طریق روند بهبود مسیریابی موجودی و روش بهبود قیمت گذاری پیشنهاد می کند. الگوریتم جستجوی هارمونی اولین بار توسط جیم و همکاران در سال ۲۰۰۱ ایجاد شد.

جستجوی هارمونی یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر موسیقی است. این مشاهدات نشان داد که هدف موسیقی جستجوی یک حالت هماهنگی کامل است. تلاش برای یافتن هارمونی در موسیقی مشابه یافتن بهینگی در یک فرآیند بهینه سازی مشابه است. وقتی یک نوازنده در حال بداهه نوازی است، سه انتخاب ممکن دارد: ۱- نواختن هر آهنگ معروف دقیقاً از حافظه او، ۲- نواختن چیزی شبیه تن ذکر شده بالا (تنظیم هوشمندانه گام)، و ۳- مواجهه با نوت های جدید یا تصادفی

در این روش هر یک از نوازنده ها همان متغیرهای تصمیم هستند. هنگامی که نوازندگان هماهنگی فوق العاده ای به دست می آورند نت های خوب را در خاطر خود می سپارند و در جای مناسب از این نت ها برای زیبایی هر چه بیشتر اثر موسیقایی خود استفاده کرده و موجب بالا رفتن و ویژه شدن هارمونی خود در یک اثر خواهند شد؛ که اگر آن را به مسائل بهینه سازی نسبت دهیم به این معنی که یک حل بهینه سراسری از طریق متغیرهای تصمیم طی مدت زمانی خاص به دست خواهد آمد.

۳-۲-۱ الگوریتم جستجوی هارمونی پیشنهادی

جستجوی هارمونی یکی از بهترین روش های بهینه سازی مسائل یک هدفه است. علت نام گذاری این نوع جستجو، مربوط به این است که در این الگوریتم، هر متغیر تصمیم مانند یک موسیقیدان و هر مقدار مانند یک نوت عمل می کند. این الگوریتم در سال ۲۰۰۱ توسعه یافت. این الگوریتم به دلیل اینکه برای مسائل مربوط به بهینه سازی پیوسته و گسسته، مفید و کاربردی است و همچنین میزان محاسبات ریاضی در آن کم است، دارای مفهوم ساده ای است و تعداد پارامتر کمتر و همینطور اجرای آسان تر، یکی از پرکاربردترین الگوریتم های مربوط به بهینه سازی است.

اگر بخواهیم مقایسه ای بین جستجوی هارمونی و سایر الگوریتم فرا ابتکاری انجام دهیم، جستجوی هارمونی دارای محاسبات ریاضیاتی کمتری است و می توان از این الگوریتم با تغییر دادن پارامترها و عملگرها در مسائل مختلف مهندسی به ویژه مسایل با رویکرد حمل و نقل استفاده نمود.

همچنین با توجه به رویکرد این الگوریتم در شیوه جستجوی جواب بهینه در زمان مناسب با پیچیدگی کمتر و تعداد حل کمتر نسبت به سایر روش های فرا ابتکاری جواب بهینه را بدست آورد.

پارامترهای حل مسئله جستجوی هارمونی برابرند با:

اندازه حافظه هارمونی HMS^{10}

Min f =

$$\sum_{i=1}^I F_i Z_i + \sum_{j=1}^J F_j Z_j + \sum_{k=1}^K F_k Z_k + \sum_{l=1}^L F_l Z_l + \sum_{m=1}^M F_m Z_m + \sum_{n=1}^N F_n Z_n + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T TSP_{ijtp} X_{ijtp} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T TPM_{jkpt} Y_{jkpt} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T TMC_{kltp} U_{kltp} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T TMC_{kmtpt} W_{kmtpt} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T TCC_{lmpt} V_{lmpt} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T TCR_{mntp} B_{mntp} + \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T TRP_{njtp} A_{njtp} + \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \pi_{ltpt} SH_{ltpt} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K h_{kp} INV_{kpt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L h_{lp} INV_{ltp}$$

St:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Y_{jkpt} = \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T U_{kltp} + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T W_{kmtpt} \quad \forall k, p \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T U_{kltp} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T V_{lmpt} + \sum_{t=1}^T DIS1_{ltp} \quad \forall l, p \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T B_{mntp} = \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T V_{lmpt} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T W_{kmtpt} \quad \forall m, t, p \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T A_{njtp} = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T B_{mntp} - \sum_{t=1}^T DIS2_{ntp} \quad \forall m, p \quad (5)$$

$$INV_{kpt} = INV_{kp(t-1)} + \sum_{j=1}^J Y_{jkpt} - \sum_{l=1}^L U_{kltp} - \sum_{m=1}^M W_{kmtpt} \quad \forall k, t, p \quad (6)$$

$$INV_{ltp} = INV_{pl(t-1)} + \sum_{k=1}^K U_{kltp} - \sum_{m=1}^M V_{lmpt} - DIS1_{ltp} \quad \forall l, t, p \quad (7)$$

$$SH_{ltpt} = D_{ltpt} - INV_{l(t-1)p} - \sum_{k=1}^K U_{kltp} + SH_{l(t-1)p} \quad \forall l, t, p \quad (8)$$

$$DIS1_{ltp} = \alpha_l (\sum_{k=1}^K U_{kltp}) \quad \forall l, t, p \quad (9)$$

$$DIS2_{ntp} = \beta_n (\sum_{m=1}^M B_{mntp}) \quad \forall n, t, p \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijtp} \leq CAP_{iZ_i} \quad \forall i, t, p \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jkpt} \leq CAP_{jZ_j} \quad \forall j, t, p \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^L U_{kltp} \leq CAP_{kZ_k} \quad \forall k, t, p \quad (13)$$

$$\sum_{m=1}^M V_{lmpt} \leq CAP_{lZ_l} \quad \forall l, t, p \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^N B_{mntp} \leq CAP_{mZ_m} \quad \forall m, t, p \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^J A_{njtp} \leq CAP_{nZ_n} \quad \forall n, t, p \quad (16)$$

$$Z_i, Z_j, Z_k, Z_l, Z_m, Z_n \in [0,1] \quad (17)$$

$$X_{ijtp}, Y_{jkpt}, U_{kltp}, W_{kmtpt}, V_{lmpt}, B_{mntp}, A_{njtp}, INV_{ltp}, INV_{kpt}, DIS1_{ltp}, SH_{ltpt}, DIS2_{ntp} \geq 0 \quad (18)$$

یک تابع هدف کلی در این مسئله دیده می شود که هدف آن حداقل سازی کل هزینه های زنجیره تأمین است که بر این اساس تابع هدف شامل ۴ قسمت می شود. در بخش نخست به حداقل سازی هزینه های تأسیس پرداخته شده که مجموعه هزینه های ثابت مراکز را به حداقل می رساند، هدف قسمت دوم حداقل کردن هزینه های حمل و نقل بین مراکز مختلف را شامل می شود. قسمت سوم شامل کاهش هزینه های کمبود برای مشتریان نهایی و قسمت چهارم به کاهش هزینه های نگهداری می پردازد.

محدودیت های ۲ تا ۵ کل انتقال مواد خام، محصول نهایی و کالاهای بازیافتی در زنجیره تأمین را نشان می دهد، محدودیت های ۶ و ۷ سطح موجودی را برای مشتریان و سازنده در هر دوره نشان می دهد. محدودیت ۸ سطح کمبود را برای مشتریان در هر دوره نشان می دهد. محدودیت های ۹ و ۱۰ در مورد درصد محصولاتی هستند که نمی توانند به زنجیره تأمین بازگردند. محدودیت های ۱۱ تا ۱۶ ظرفیت مراکز زنجیره تأمین را توضیح می دهد و محدودیت های ۱۷ و ۱۸ محدوده متغیرها را نشان می دهد.

a. رویکرد پیشنهادی برای مسئله سفارش موجودی و قیمت گذاری

برای حل IRPP⁹، باید سه تصمیم مهم اتخاذ شود: بر طبق تحقیقات حسین زاده و همکاران در سال ۱۳۹۵ موجودی، مسیریابی همراه با قیمت گذاری NP-Hard است، مسائل NP-Hard مسائلی غیرقطعی با

⁹ Inventory – Routing- Pricing Problem

¹⁰ Hamony search algorithm

نسبت حافظه هارمونی (HMCR)

نسبت تنظیم گام (PAR)

پهنای باند (BW)

HM یک ماتریس است که در آن مقادیر متناسب با متغیرهای تصمیم ذخیره می‌شود و در هر دور تولید جواب به‌عنوان جمعیت اولیه در مسئله شناخته خواهد شد.

الگوریتم محاسباتی به شرح زیر است:

گام ۱- تعیین نرخ استفاده از حافظه اولیه یا همان (HMCR).

گام ۲- تعیین نرخ میزان تغییر گام یا جابه‌جایی (PAR).

گام ۳- تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی (HMS).

گام ۴- تا زمان رسیدن به شرط پایان (تکرار در اینجا) الگوریتم ادامه یابد.

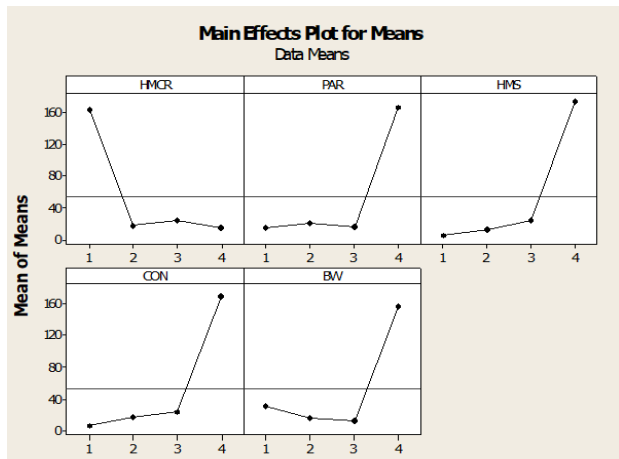
گام ۵- تولید هارمونی جدید با احتمال HMCR از جمعیت HMS و با احتمال HMCR 1- از جمعیت HMS استفاده نمی‌شود (این عمل منجر به تنوع‌بخشی به جواب خواهد شد).

گام ۶- جوابی که ایجاد شده است دارای مؤلفه‌هایی است که با احتمال PAR تغییری به‌اندازه BW است و با احتمال PAR 1- تغییری در مؤلفه‌ها ایجاد نخواهد شد.

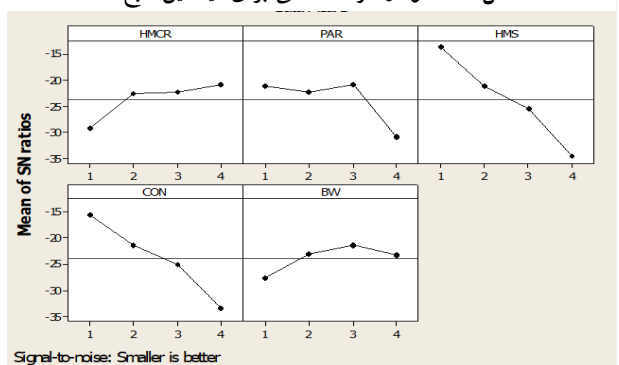
گام ۷- مقایسه هارمونی جدید و اضافه کردن آن به HMS در صورتی که از بدترین جواب جامعه بهتر باشد.

گام ۸- بازگشت به گام ۴ و در صورت برآورده شدن شرایط خاتمه رفتن به گام بعدی.

گام ۹- ذخیره‌سازی پاسخ‌ها و پایان.

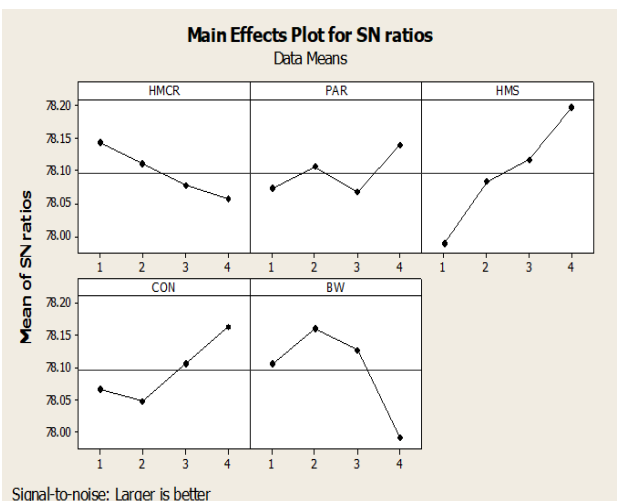


شکل (۲): نمودار اثرات اصلی برای میانگین تابع هدف



Signal-to-noise: Smaller is better

شکل (۳): نمودار اثرات اصلی برای نسبت‌های S/N یک تابع هدف



Signal-to-noise: Larger is better

شکل (۴): نمودار اثرات اصلی برای میانگین زمان‌های cpu

۳-۲-۳ تحلیل آماری

تنظیمات پارامتر جستجوی هارمونی پیشنهادی مطابق با روش تاگوچی است. در این رویکرد، ما چهار عامل و سه سطح برای این عامل داریم، و فاکتورها و سطوح را در جدول ۲ نشان می‌دهیم. طرح L16 را برای این مساله انتخاب و ۱۶ سناریو را پنج بار اجرا می‌شود و میزان انطباق و زمان حل (CPU) را برای طراحی آزمایش جمع‌آوری و بهترین سطوح را برای فاکتورها انتخاب کرده و برای بهترین کارایی الگوریتم و پاسخ‌های قوی، سطح پارامترها را با نمودار اثر اصلی برای میانگین و نسبت S/N تابع هدف و زمان CPU انتخاب می‌شود.

نسبت S/N برای فاکتورها به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$S/N = -10 \log\left(\frac{\sum_{n=1}^n (1/y^2)}{n}\right) \quad \text{For larger is better} \quad (19)$$

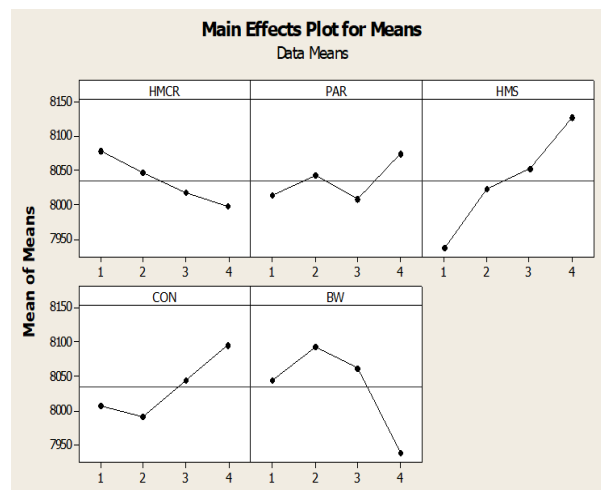
$$S/N = -10 \log\left(\frac{\sum_{n=1}^n y^2}{n}\right) \quad \text{For smaller is better} \quad (20)$$

۴- نتیجه گیری

۴-۱ مثال عددی

در یک مسئله به صورت فرضی، در آن ۴ مرکز مواد اولیه، ۱۰ کاغذ تولیدکننده، ۵ واحد کارتن سازی، ۳۰ مشتری نهایی، ۲۰ مرکز جمع آوری و ۱۰ بازیافت کننده وجود دارد و روابط فی مابین واحدها بر روی پیکانهای ارتباطی مشخص شده است. حال قصد پیاده سازی و ارزیابی مدل خود را داریم در ابتدا به دلیل کوچک بودن سایز مسئله، مسئله با استفاده از نرم افزار گمز (نسخه GAMS مورد استفاده: ۲۴.۸.۲ و نرم افزار متلب (نرم افزار MATLAB ورژن ۲۰۱۴a حل می شوند).

از طریق الگوریتم جستجوی هارمونی حل گردید که نتایج از هر دو طریق جوابی نزدیک به یکدیگر داشته اند که نشان دهنده کارایی الگوریتم مورد استفاده می باشد و نتایج برای مساله با سایز بزرگتر که در آن ۱۰ مرکز مواد اولیه، ۲۰ کاغذ تولیدکننده، ۳۰ واحد کارتن سازی، ۵۰ مشتری نهایی، ۴۰ مرکز جمع آوری و ۲۰ بازیافت کننده وجود دارد توسط الگوریتم جستجوی هارمونی حل گردید که نتایج به پیوست در جداول شماره ۴ آمده است سپس برای ارزیابی کارایی الگوریتم، از الگوریتم جستجوی هارمونی استفاده می شود که نتایج آن به به شرح آورده شده است.



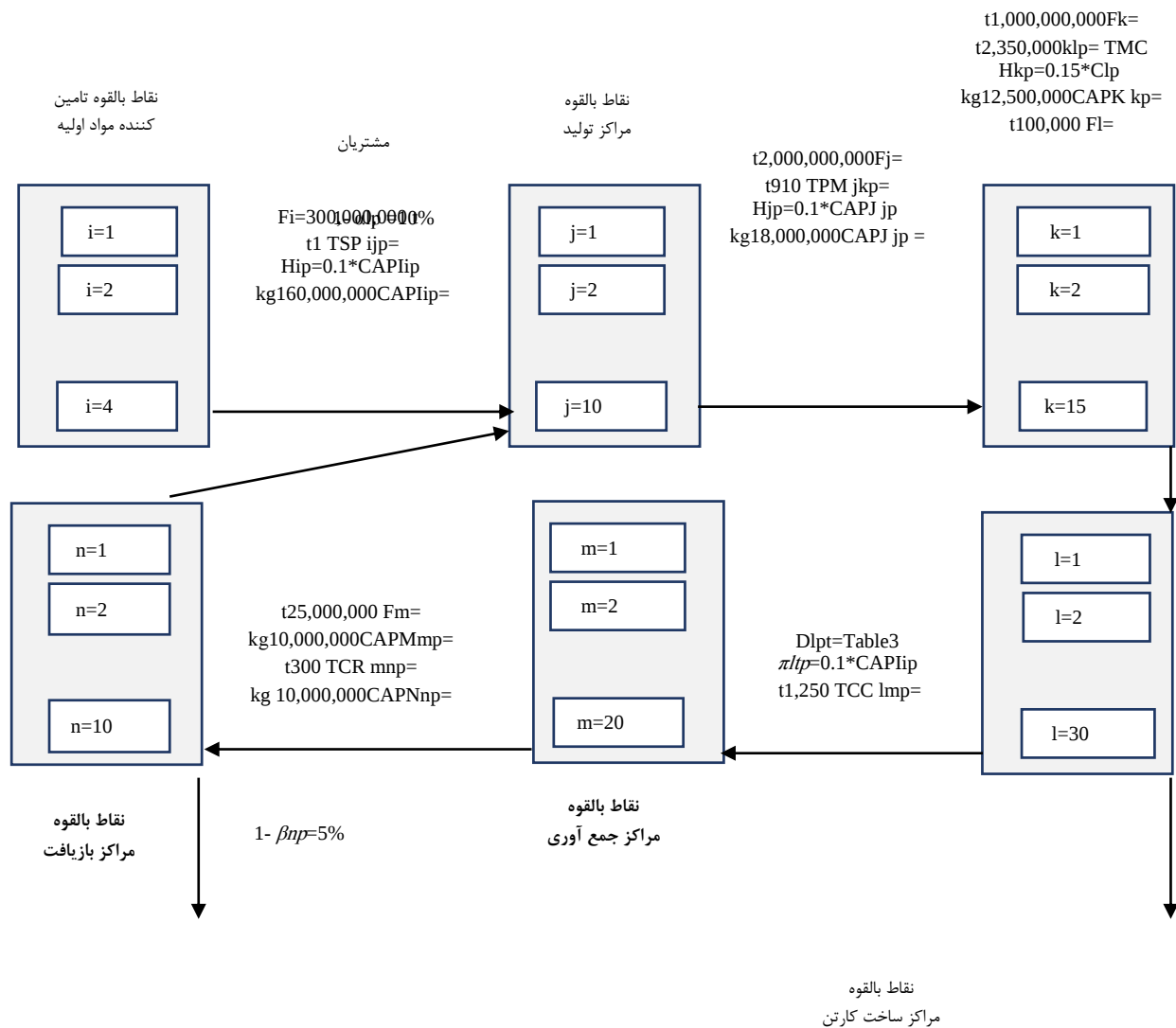
شکل (۵): نمودار اثرات اصلی برای نسبت های S/N زمان های cpu

جدول (۲): عوامل و سطوح

Factor Level	HMC	PAR	HMS	CON ¹¹	BW
I	0.8	0.55	50	50	5
II	0.85	0.65	100	100	10
III	0.9	0.7	150	200	20
IV	0.95	0.8	200	300	50

با توجه به طراحی آزمایشات تاگوچی میزان بهینه هر فاکتور پس از حل مدل برای تنظیم پارامترهای الگوریتم دست می آید. پارامتر $HMCR=0.8$ و میزان پارامترهای $PAR=0.7$ ، $CON=100$ ، $HMS=150$ ، $BW=10$ برای بدست آوردن بهترین جوابها با کمترین زمان حل و دقیق ترین نتایج و همچنین کمترین پراکندگی در اجراهای الگوریتم بدست می آید. پارامترهای الگوریتم در ۴ سطح آزمایش شد و بر اساس هر سطح مقدار هر پارامتر به دست آمده است. همچنین با استفاده از فرمول بیشتر - بهتر تاگوچی برای محاسبه نسبت S/n مقدار هشدار هر سطح از پارامترها با تابع هدف مشخص گردید. بنابراین برای هر پارامتر از الگوریتم مقادیر بیشترین مورد استفاده شده است.

¹¹ Count of number



اگر میزان مصرف هر مشتری در دوره زمانی t مطابق جدول شماره ۳ باشد:

جدول (۳): تقاضای مشتریان

مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا
1	15	7	59	13	89	19	72	25	42
2	55	8	259	14	180	20	380	26	56
3	29	9	43	15	19	21	68	27	270
4	85	10	21	16	39	22	98	28	52
5	28	11	17	17	94	23	46	29	38
6	20	12	80	18	88	24	54	30	23

اعلام شده کل زنجیره تامین برطرف گردد.

بر همین اساس ۷ مرکز بازیافت از بین ۲۰ مرکز بازیافت بالقوه انتخاب می-گردند که مواد بازیافتی را به ۷ مرکز انتخاب شده از بین ۱۰ مرکز بازیافت بالقوه منتقل می نمایند.

بر همین اساس خروجی مدل مطابق جدول شماره ۴ خواهد بود که در آن هزینه هر واحد به تفکیک آمده است. که در این میان، ۲ مرکز تولیدکننده مواد اولیه و ۷ مرکز بازیافت کاغذ، مواد اولیه را برای ۱۰ مرکز تولیدکننده منتقل می کنند و این ۱۰ سایت نیاز به ۱۲ مرکز بالقوه کارتن سازی را از میان ۱۵ مرکز مرتفع می نمایند تا در نهایت نیاز ۳۰ مشتری نهایی با هزینه

جدول (۴): نتایج محاسبات

هزینه تسهیلات در سائز بزرگ با استفاده از جستجوی هارمونی	۸۸۸,۵۸۸,۷۸۸,۲۴۰
هزینه تسهیلات در سائز کوچک با استفاده از جستجوی هارمونی	۶۰۰,۳۳۷,۹۰۵,۵۷
هزینه تسهیلات در سائز کوچک با استفاده از نرم افزار حل دقیق گمز	۵۷,۲۵۶,۲۴۹,۹۹۹

۲-۴ پیشنهادت

به یکدیگر شبیه بودند بنابراین کارایی الگوریتم مورد تایید قرار گرفت و سپس از الگوریتم جستجوی هارمونی بر پایه جمعیت برای حل یک مسئله در سائز بزرگ استفاده شد که در نهایت کاملاً با مدل مسئله همراستا بود و منجر به تولید جوابهای منطقی در زمان مناسب گردید. در واقع با توجه به نتایج به دست آمده می توان پیشنهادهایی از قبیل قراردادن سیستم نوبت دهی مواد بازیافتی در مراکز جمع آوری برای انتقال به مراکز اولیه یا مراکز تولید کاغذ را مورد بحث قرار داد. در نظر گرفتن تنوع در محصولات و افراز این مدل در صنایع مختلف بازیافتی، در نظر گرفتن مدل های چند تابع هدف به صورت توأمان با کاهش هزینه های زنجیره تامین و در نظر گرفتن مدل های احتمالی به جای مدل های قطعی از دیگر پیشنهادت در این حوزه می باشد.

در گذشته بیشتر فعالیت های مدیریت زنجیره تامین بر روی عملیات تولید و توزیع متمرکز بوده است. این مقاله کاهش هزینه های زنجیره تامین حلقه بسته (تأسیس، حمل و نقل، تولید، موجودی، و خرید) در صنعت کاغذ، بسته بندی و چاپ را مورد بررسی قرار داد. برای حل مؤلفه های مسئله NP-Hard باید از یک الگوریتم ابتکاری یا فرا ابتکاری برای دستیابی به یک پاسخ معقول در زمان مناسب برای مسائل در سائز بزرگ استفاده نمود. بنابراین در این مقاله سعی شد مسئله مسیریابی-قیمت گذاری در زنجیره تامین حلقه بسته مورد بررسی قرار گیرد. در ابتدا با توجه به در نظر گرفتن محدودیت ها مسئله، تابع هدف کاهش هزینه های وارده بر زنجیره تامین در نظر گرفته شد و درآمدی برای حل مدل ابتدا مسئله در سائز کوچک به وسیله نرم افزار گمز و سپس برای سنجش کارایی مدل و الگوریتم به وسیله الگوریتم جستجوی هارمونی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تا حد زیادی

منابع و مأخذ

- [۱] فرهنگی، علی اکبر. صفرزاده، حسین. (۱۳۸۴). طراحی و تبیین الگوی ارتباطات سازمانی در فرایند کارآفرینی سازمانی (باتاکید بر شرکت های بخش سراسری ایران). دو ماهنامه دانشور رفتار ۱، ۱۴ (۱۳۸۴): ۱۷-۱
- [2] Abdolazimi, O., Salehi Esfandarani, M., Salehi, M., Shishebori, D. (2020). **A Comparison of Solution Methods for the Multi-Objective Closed Loop Supply Chains**.
- [3] Babazadeh, R. (2018). **Presenting a Comprehensive Mathematical Programming Model for an Integrated Production-Distribution Planning in a Closed-Loop Supply Chain**.
- [4] Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvae, M. S., Rabbani, M. (2016). **Sustainable Second-Generation Biodiesel, Supply Chain Network Design Problem under Risk**.
- [5] Christopher, M., Ryals, L. (1999). **Supply Chain Strategy: Its Impact on Shareholder Value**.
- [6] Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V. (2014). **Designing a Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Based on Triple Bottom Line Approach: A Comparison of Metaheuristics Hybridization Techniques**.
- [7] Farahani, A., SteadieSeifi, H., Esmaili, S. K. (2014). **Closed-Loop Supply Chain Network Design under Uncertainty for Quality of Returned Products Using Lp-Shape Algorithm**.
- [8] Ghaoui, L. E., Oustry, F., Lebret, H. (1998). **Robust Solutions to Uncertain Semidefinite Programs**.
- [9] Hatefi, S. M., Jolai, F. (2014). **Robust and Reliable Forward-Reverse Logistics Network Design under Demand Uncertainty and Facility Disruptions**.
- [10] Hendricks, K., Singhal, V. R. (2003). **Supply Chain Strategy: Its Impact on Shareholder Value**. Journal of Operations Management, 21(4), 405-433.
- [11] Hou, Y., Zhang, Y. (2019). **Uncertainty in Production Systems: A Review**.
- [12] Jahani Sayyad Noveiri, M., Kordrostami, S., Amirteimoori, A. (2017). **Cost Efficiency of Closed-Loop Supply Chain in the Presence of Dual-Role and Undesirable Factors**.
- [13] Jafari, T., Zarei, A., Azar, A., Moghaddam, A. (2023). **The Impact of Business Intelligence on Supply Chain Performance with Emphasis on Integration and Agility—a Mixed Research Approach**.
- [14] Karimi, K., Fatemi Ghomi, S. M. T., Saidi-Mehrabad, M. (2016). **An Integer Programming Model for a Closed-Loop Logistics Network with Reverse Logistics and Multi-Types of Recoverable Waste**.
- [15] Linton, J. D., Klassen, R., Jayaraman, V. (2007). **Sustainable Supply Chains: An Introduction**.
- [16] Muduli, K., Govindan, K., Barve, A., Geng, Y. (2013). **Barriers to Green Supply Chain Management in Indian Mining Industries: A Graph-Theoretic Approach**.
- [17] Van der Heijden, R., Coenen, J., van Riel, A. (2017). **Transitioning from a Linear Economy towards a Circular Economy: The Case of the Apparel Industry**.
- [18] Zegordi, S., Mokhlesian, M. (2015). **Pricing and Inventory for a Supply Chain with Perishable and Substitutable Products**. Advances in Industrial Engineering, 49(2), 185-197.