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

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 درنهایت 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[1] 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 و مرور ادبیات

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

در گذشته زنجیره تامین همواره مستقیما 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 وا داشت، که این امر منجر به ایجاد یک جریان تحت عنوان جریان معکوس در زنجیره تأمین گردید. چنین شرکت‌هایی به دست‌آوردهای بزرگی در کاهش هزینه های تولیدی خود رسیدند، بر همین اساس تلاش هایی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین 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، سیستم بازیافت محصول سهم بسزایی در افزایش سودآوری سازمان ها دارد[6]. و از علوم مختلفی همانند نظریه گراف در تبیین و شناسایی مشکلات پیشروی زنجیره تامین 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 تأمین سبز کمک کنند[16].

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[17].

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

[1]- Harmony Search

کنترل موجودی در زنجیره تـأمین، مـدیریـت موجودی کـالا را می‌توان بـه عنوان یکی از موضـوعات حسـاس در تجارت و صنعت ذکر کرد، اما به دلیل شـرایط خاص کالاهای فاسـدشـدنی، کنترل موجودی و مدیریت بهتر تقاضا برای این اقلام ضـــرورتی دوچنـدان دارد. بنـابراین، تولیـدکننـدگـان این محصـــولات می‌تواننـد بـا تأمین‌کنندگان مواد اولیه و خرده‌فروشـــان برای پاسـخگویی به نگرانی‌های زیسـت‌محیطی و کاهش هزینه‌های سـیسـتم با طراحی زنجیره تأمین حلقه بسـته و تحویل مناسـب محصـول به مشـتری، جمع‌آوری اقلام خراب، تکثیر و فروش مجـدد همکـاری کنند، علاوه بر این، تمرکز بر مسـائل زیسـت‌محیطی و مزایای اقتصـادی بازیافت این فعالیت‌ها، توجه بیشـــتر به زنجیره تأمین معکوس را در پی داشـــته اســـت. برای این منظور، ادغام طرح‌های شبکه لجستیک معکوس و مستقیم از اهمیت بالایی برخوردار است. [12]

شـــبکـه زنجیره تـأمین پیشـــرو، زنجیره تأمینی اســـت که مجموعه‌ای از ســـازمـان‌هـای 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، ذخیره‌ســازی، عمده‌فروشــی و خرده‌فروشــی ارائه می‌دهند. در این محـدوده، مشـــتریان نهایی در پایین‌ترین ســـطح زنجیره قرار دارند و باید به‌عنوان اعضـای این سـازمان‌ها محسـوب شـوند. از سـوی دیگر، در زنجیره تأمین معکوس، کالاهای مصـرف‌شـده توسـط کاربر نهایی به سـمت مبدأ درحرکت‌اند. با این تعاریف می‌توان نتیجه گرفت که یک سـیسـتم مدیریت زنجیره تأمین باید بر ادغام اعضـــای زنجیره از طریق تکنیک بهینه‌ســـازی تأکید کند. عامل کلیدی که باعث رضایت مشتریان و سود بیشتر و دستیابی به هزینه‌های کمتر زنجیره تأمین به‌طور هم‌زمان می‌شـود، می‌تواند از طریق یکپارچه‌سازی سیستم محقق گردد. [13]

مدل عملیاتی زنجیره تأمین به عنوان ابزار قدرتمندی در نظر گرفته می‌شود کـه می‌توانـد بـه طور مؤثر تـأثیر زنجیره را بر عملکرد و مـدیریـت عوامـل تعیین‌کننـده اســـتراتژیکی و روابط آن‌ها درک و مطالعه کند. بنابراین، یک زنجیره تأمین عملیاتی شـــامل تصـــمیمات اســـتراتژیک و عملیاتی اســـت. 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 تأســـیســـات (محل)، وضـــعیت و ظرفیت انبارهای محصولات و جریان مواد در شبکه زنجیره تامین گنجاند. تصمیمات عملیاتی تصـمیمات بین سـازمانی هستند و دوره‌ای از چند ماه تا یک سال را شامل می‌شـوند. خرید، تولید، مطابقت بین سـاخت و توزیع، تخفیف، موجودی و استراتژی‌های حمل‌ونقل زیرمجموعه این تصمیمات هستند.

سطح استراتژیکی فرض می‌کند که پیکربندی شبکه زنجیره تأمین قبلاً اجرا شده است. ازآنجایی‌که ایجاد، شروع و بسته شدن تسهیلات فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه اسـت، تغییر آن در کوتاه‌مدت پس از تصمیم‌گیری‌های بلندمدت غیرممکن اسـت. از سـوی دیگر، تصـمیمات عملیاتی توسـط تصـمیمات اســتراتژیک تعیین می‌شـود. بنابراین، پیکربندی شـبکه زنجیره تأمین یک محدودیت برای تصـمیم‌گیری در سـطوح عملیاتی و اسـتراتژیکی تلقی می شود. [10]

به دلیل اهمیت موضـوع، مطالعات زیادی در مورد زنجیره تأمین حلقه بسته انجام شـده اسـت. مطالعات جامعی در مورد بررسـی ادبیات زنجیره تأمین حلقه بســته و کاربردهای آن انجام شـــده و مدل‌های مختلفی را در ادبیات نشان دادند. [15]

بعدها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه جامع که برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین حلقه بســـته توســـعه یافته اســـت. در مدل پیشـنهادی، مشتریان به سه گروه شامل مشتریان محصول جدید، مشتریان محصول بازیابی شده و مشتریان مواد خام دسته‌بندی می‌شوند. [3].

بابازاده[2] و همکاران در تحقیقاتی دیگر به بررسی همزمان دو تابع هدف کاهش هزینه های زنجیره تامین و تحت کنترل قراردادن اثرات محیط زیستی در شرایط عدم قطعیت پرداختند[4].

هو [3]عدم قطعیت ها را مطالعه کرد و به این نتیجه رسـید که سـیسـتم‌های تولید، دنیای واقعی را به دو گروه قبلیت تقسـیم دارند :۱- عدم قطعیت‌های محیطی و ۲- عـدم قطعیت‌های ســـیســـتمی. در حوزه زنجیره تأمین، افق محیطی مربوط به عدم قطعیت تقاضـا و عرضـه اسـت که ناشـی از عملکرد تأمین‌کنندگان و رفتار مشـتری اسـت. عدم قطعیت سـیسـتمی شامل عدم قطعیـت در فرآینـدهـای تولیـد، توزیع، جمع‌آوری و بـازیـافـت، مانند عدم قطعیت در زمان تحویل، هزینه‌های تولید و ظرفیت واقعی روش‌های مختلف است. [11]

مـاهیـت پویـا و پیچیـده زنجیره تـأمین درجـه بـالایی از عدم قطعیت را بر تصـــمیمـات برنـامـه زنجیره تأمین به‌وجود می‌آورد و تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد کل شـبکه زنجیره تأمین دارد که اهمیت مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و ریسـک‌های ناشـی از پارامترهای نامشخص در شبکه زنجیره تأمین دارد و موجب توســـعه ابزارهای تصـــمیم‌گیری مناســـب برای غلبه بر پارامترهای نامشخص در مسائل طراحی شبکه شده است[9].

در ادامه تحقیقاتی برای درنظر گرفتن عدم قطعیت در شـبکه زنجیره تأمین حلقه بسـته با ملاحظات زیسـت محیطی ارائه شـده اسـت و از مدل‌های غیرقطعی در زنجیره‌هـای تأمین حلقه بســـته در این پژوهش ها اســـتفاده گردیده اسـت. برنامه‌ریزی استوار همواره یکی از راه‌های حل‌های مناسب در برخورد با عدم قطعیت‌ها مدل های ارائه شـده بوده است. از همین رو دویکا [4]و همکاران به بررسـی بهینه سـازی یک زنجیره تأمین حلقه بسـته اسـتوار چند سـطحی پرداختند. [6] و یک مدل برنامه‌نویسـی عدد صحیح مختلط[5] برای یک شـبکه لجسـتیک معکوس برای به حداقل رسـاندن هزینه زنجیره تأمین، انرژی و ضـایعات باقیمانده در زنجیره تأمین حلقه بســـته را در نظر گرفته شـــد، در تحقیقات پیرامون این مســـئله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صـحیح مختلط ارائه شـد که برای حل مدل بهینه‌سازی و توسعه آن از نرم‌افزار CPLEX استفاده شده است[14] و بعد از آن یک مدل جدید برای

2- Babazadeh
3- Hou
4- Devika
۵- MILP: Mixed Integer Linear Programming

یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بازیافت کالاهای فاسدشدنی برگشت‌پذیر 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 می‌پردازد. نتایج کار آن‌ها نشان داد که هزینه‌های محصولات جدید را می‌توان زمانی کاهش داد که در زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی اقداماتی مؤثر و خاص در یک بازه برنامه‌ریزی شده انجام داد[7].

عبدالعظیمی[۶] و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای به حداقل رساندن هزینه کلی و به حداکثر رساندن استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست و فناوری پاک ایجاد کردند. مدل آن‌ها دیدگاهی جامع در مورد اهمیت انتخاب روش‌شناسی راه‌حل مناسب بر اساس بعد مسئله برای اطمینان از دستیابی به راه‌حل بهینه و دقیق در زمان پردازش منطقی ارائه می‌دهد[2].

زگوردی[۷] و مخلصیان[۸] یک زنجیره تأمین شامل یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش رقابتی را در نظر گرفتند که سازنده چندین محصول فاسدشدنی و قابل تعویض را تولید و ارائه کردند. از آنجایی که مدل‌های دو هدفه اغلب NP-HARD هستند، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده جهت حل مدل به کار گرفته شده است[18].

در گذشته تحقیقت فرآوانی پیرامون مسائل غیرقطعی با در نظر گرفتن بدترین حالت اجرا شد که در این مقالات، نویسندگان به بررسی مسائل برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. آنها روش‌هایی برای حل این مسائل تحت عدم قطعیت ارائه کرده و به تحلیل و بررسی امکانات بهینه‌سازی در این شرایط پرداخته‌اند. این مقالات از اهمیت بسیاری در حوزه بهینه‌سازی و مسائل عدم قطعیت برخوردارند و به توسعه روش‌های بهینه‌سازی در شرایط غیرقطعی پرداخته اند[8].

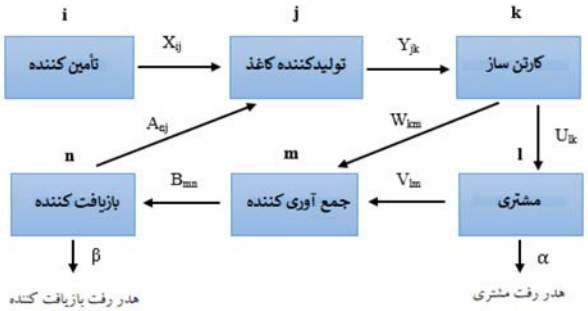
جدول (۱): نمای کلی از پژوهش‌های صورت گرفته

مطالعه	تابع هدف	شبکه زنجیره تأمین				دقیق	فرا ابتکاری	قابل جایگزینی	فاسدشدنی
	هزینه	تک‌محصولی	چندمحصولی	چند دوره‌ای	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 قیمت‌گذاری 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 جنبه‌های اقتصادی غفلت شده است، این مطالعه مدلی برای کالاهای فاسدشدنی در محصولات زنجیره تأمین کارتن و کاغذ را ارائه می‌کند.

۲- متن

۲-۱- مدل



شکل(۱) : نمای کلی از مساله

۲-۱-۱- اندیس ها

I: $i \in \{1..., I\}$ مجموعه تأمین‌کنندگان پیشنهادی

J: $j \in \{1..., J\}$ مجموعه تولیدکنندگان پیشنهادی

K: $k \in \{1..., K\}$ مجموعه سازندگان پیشنهادی

L: $l \in \{1..., L\}$ مجموعه مشتریان

M: $m \in \{1..., M\}$ مجموعه مراکز جمع‌آوری پیشنهادی

N: $n \in \{1..., N\}$ مجموعه مراکز بازیافتی پیشنهادی

P: $p \in \{1..., P\}$ مجموعه محصولات

T: $t \in \{1..., T\}$ دوره‌های زمانی

۲-۱-۲ – پارامترها

F_i هزینه ثابت ایجاد تأمین‌کننده i ام

F_j هزینه ثابت ایجاد تولیدکننده ثابت j ام

F_l هزینه ثابت برآورد نیاز مشتری l ام

F_k هزینه ثابت ایجاد سازنده k ام

F_m هزینه ثابت ایجاد مرکز جمع‌آوری m ام

1- Abdolazimi

۷ - Zegordi

8- Mokhlesian

F_n هزینه ثابت ایجاد مرکز بازیافت n ام

TSP_{ijp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین تأمین‌کننده i ام و تولیدکننده کاغذ j به ازای واحد محصول P ام

TPM_{jkp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین تولیدکننده کاغذ j ام و سازنده کارتن k ام به ازای واحد محصول P ام

TMC_{klp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین سازنده کارتن k ام و مشتری l ام به ازای واحد محصول P ام

$TMCO_{kmp}$ هزینه واحد حمل‌ونقل بین سازنده k ام و مرکز جمع‌آوری m ام به ازای واحد محصول P ام

TCC_{lmp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین مشتری l ام و مرکز جمع‌آوری m ام به ازای واحد محصول P ام

TCR_{mnp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین مرکز جمع‌آوری m ام و بازیافت‌کننده n ام به ازای واحد محصول P ام

TRP_{njp} هزینه واحد حمل‌ونقل بین بازیافت کننده n ام و مرکز تولید j ام به ازای واحد محصول P ام

h_{ip} هزینه نگهداری واحد محصول p ام در تامین کننده i 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

$CAPI_{ip}$ ظرفیت تأمین‌کننده i برای محصول خام p

$CAPJ_{jp}$ ظرفیت مرکز تولید j برای محصول نهائی p

$CAPK_{kp}$ ظرفیت سازنده k برای محصول نهایی p

$CAPL_{lp}$ ظرفیت مشتری l برای دریافت محصول p

CAP_{mp} ظرفیت مرکز جمع‌آوری m برای جمع‌آوری محصول p

CAP_{np} ظرفیت مرکز بازیافت n برای جمع‌آوری بازیافت محصول p

α_{lp} 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 بازیافت n که به زنجیره تأمین باز نمی‌گردد

۲-۱-۳ – *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 انتخاب شوند.

Z_m متغیر صفر و یک اگر در مرکز جمع‌آوری m ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.

Z_n متغیر صفر و یک اگر در مرکز بازیافت n ایجاد شود، یک و در غیر این صورت صفر است.

X_{ijpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده بین تأمین‌کننده i ام و تولیدکننده کاغذ p ام در دوره t ام

Y_{jkpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از تولیدکننده کاغذ j ام به سازنده کارتن k ام در دوره t ام

U_{klpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از سازنده کارتن k ام به مشتری l ام در دوره t ام

W_{kmpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده بین سازنده کارتن k ام بین مرکز جمع‌آوری m ام در دوره t ام

V_{lmpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده ب بین مشتری l ام و مرکز جمع‌آوری m ام در دوره t ام

B_{mnpt} تعداد محصول p ام جابه‌جاشده از مرکز جمع‌آوری m ام به مرکز بازیافت n ام در دوره t ام

A_{njpt} تعداد محصول pجابه‌جاشده از مرکز بازیافت n ام به تولیدکننده j ام در دوره t ام

INV_{kpt} موجودی محصول p ام در سازنده کارتن k ام در دوره t ام

INV_{ltp} موجودی محصول p ام نزد مشتری l ام در دوره t ام

DIS_{ltp} تعداد محصول p ام از مشتری l ام که به زنجیره تأمین بر نمی-گردد.

SH_{ltp} مقدار کمبود محصول p ام برای مشتری l ام در دوره t ام

DIS_{ntp} تعداد محصول p از مرکز بازیافت n که به زنجیره تأمین بر نمی گردد

D_{ltp} مقدار کمبود محصول p ام برای مشتری l ام در دوره t ام

۲-۱-۴ – *متغیرهای جستجوی هارمونی*[۹]

ψیک متغیر تصادفی با توزیع نرمال جهت تنظیم گام $(-1\leq\psi\leq1)$

Λ یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال برای انتخاب استراتژی آپدیت حافظه جستجوی هارمونی$(0\leq\lambda\leq1)$

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 نظرگرفته شده هارمونی

Par نرخ گام تنظیم

Bw عرض باند فاصله

Pribp قیمت خرید مواد خام از تأمین‌کننده مواد اولیه محصول نوع pام.

Mibpt ضریب جریمه زمانی که ماده خام بین i و jنباید جابه‌جا شود.

۹ -Harmony search algorithm

۲-۱-۵ – مدل اصلی مسئله

$$Min\ f = \sum_{i=1}^{I} F_i Z_i + \sum_{j=1}^{J} F_j Z_j + \sum_{k=1}^{K} F_k Z_k + \sum_{l=1}^{L} F_l Z_l + \sum_{m=1}^{M} F_m Z_m + \sum_{n=1}^{N} F_n Z_n + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} TSP_{ijp} X_{ijpt} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} TPM_{jkp} Y_{jkpt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} TMC_{klp} U_{klpt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} TMCO_{kmp} W_{kmpt} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} TCC_{lmp} V_{lmpt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} TCR_{mnp} B_{mnpt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} TRP_{njp} A_{njpt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L} \pi_{ltp} SH_{ltp} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} h_{kp} INV_{kpt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L} \acute{h}_{lp} INVL_{lpt} \quad (1)$$

St:

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

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

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

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

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

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

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

$$DIS1_{lpt} = \alpha_l\left(\sum_{k=1}^{K} U_{klpt}\right) \quad \forall l,t,p \quad (9)$$

$$DIS2_{npt} = \beta_n\left(\sum_{m=1}^{M} B_{mnpt}\right) \quad \forall n,t,p \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ijpt} \le CAPI_i Z_i \quad \forall i,t,p \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{jkpt} \le CAPJ_j Z_j \quad \forall j,t,p \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^{L} U_{klpt} \le CAPK_k Z_k \quad \forall k,t,p \quad (13)$$

$$\sum_{m=1}^{M} V_{lmpt} \le CAPL_l Z_l \quad \forall l,t,p \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^{N} B_{mnpt} \le CAP_m Z_m \quad \forall m,t,p \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{J} A_{njpt} \le CAP_n Z_n \quad \forall n,t,p \quad (16)$$

$$Zi, Zj, Zk, Zl, Zm, Zn \in [0,1] \quad (17)$$

$$Xijpt, Yjkpt, Uklpt, Wkmpt, Vlmpt, Bmnpt, Anjpt, INVltp, INVkpt, DIS1ltp, SHltp, DIS2ntp \ge \mathbf{0} \quad (18)$$

یک تابع هدف کلی در این مسئله دیده می‌شود که هدف آن حداقل سازی کل هزینه‌های زنجیره تأمین است که بر این اساس تابع هدف شامل ۴ قسمت می‌شود. در بخش نخست به حداقل سازی هزینه‌های تأسیس پرداخته شده که مجموعه هزینه‌های ثابت مراکز را به حداقل می‌رساند، هدف قسمت دوم حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز مختلف را شامل می‌شود. قسمت سوم شامل کاهش هزینه‌های کمبود برای مشتریان نهایی و قسمت چهارم به کاهش هزینه‌های نگه‌داری می‌پردازد. محدودیت‌های ۲ تا ۵ کل انتقال مواد خام، محصول نهایی و کالاهای بازیافتی در زنجیره تأمین را نشان می‌دهد، محدودیت‌های ۶ و ۷ سطح موجودی را برای مشتریان و سازنده در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت ۸ سطح کمبود را برای مشتریان در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۹ و ۱۰ در مورد درصد محصولاتی هستند که نمی‌توانند به زنجیره تأمین بازگردند. محدودیت‌های ۱۱ تا ۱۶ ظرفیت مراکز زنجیره تأمین را توضیح می‌دهد و محدودیت‌های ۱۷ و ۱۸ محدوده متغیرها را نشان می‌دهد.

۲-۲- رویکرد پیشنهادی برای مسئله سفارش موجودی و قیمت‌گذاری

برای حل IRPP[10]، باید سه تصمیم مهم اتخاذ شود: بر طبق تحقیقات حسین زاده و همکاران در سال ۱۳۹۵ موجودی، مسیریابی همراه با قیمت‌گذاری NP-Hard است ، مسائل NP-Hard مسائلی غیرقطعی با زمان چندجمله‌ای هستند. این مسائل قابل‌حل با الگوریتم‌های قطعی با زمان چندجمله‌ای نیستند. این مقاله یک الگوریتم جستجوی هارمونی را برای بهبود راه‌حل از طریق روند بهبود مسیریابی موجودی و روش بهبود قیمت‌گذاری پیشنهاد می‌کند.

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 بهینه‌سازی 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 نوازنده‌ها همان متغیرهای تصمیم هستند. هنگامی‌که نوازندگان هماهنگی فوق‌العاده‌ای به دست می‌آورند نت‌های خوب را در خاطر خود می‌سپارند و در جای مناسب از این نت‌ها برای زیبایی هر چه بیشتر اثر موسیقیایی خود استفاده کرده و موجب بالا رفتن و ویژه شدن هارمونی خود در یک اثر خواهند شد؛ که اگر آن را به مسائل بهینه‌سازی نسبت دهیم به این معنی که یک حل بهینه سراسری از طریق متغیرهای تصمیم طی مدت‌زمانی خاص به دست خواهد آمد.

۲-۲-۱ –الگوریتم جستجوی هارمونی پیشنهادی

جستجوی هارمونی یکی از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل یک هدفه است. علت نام‌گذاری این نوع جستجو، مربوط به این است که در این الگوریتم، هر متغیر تصمیم مانند یک موسیقیدان و هر مقدار مانند یک نوت عمل می‌کند. این الگوریتم در سال ۲۰۰۱ توسعه یافت. این الگوریتم به دلیل اینکه برای مسائل مربوط به بهینه‌سازی پیوسته و گسسته، مفید و کاربردی است و همچنین میزان محاسبات ریاضی در آن کم است، دارای مفهوم ساده‌ای است و تعداد پارامتر کمتر و همینطور اجرای آسان‌تر، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های مربوط به بهینه‌سازی است.

اگر بخواهیم مقایسه‌ای 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[11] (HMS)

10- Inventory-Routing-Pricing Problem

11- Harmony memory size

نسبت حافظه هارمونی[۱۲] (HMCR)
نسبت تنظیم گام[۱۳] (PAR)
پهنای باند[۱۴] (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 به‌شرط پایان (تکرار در اینجا) الگوریتم ادامه یابد.

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

گام ۶- جوابی که ایجادشده 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 درصورتی‌که 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.

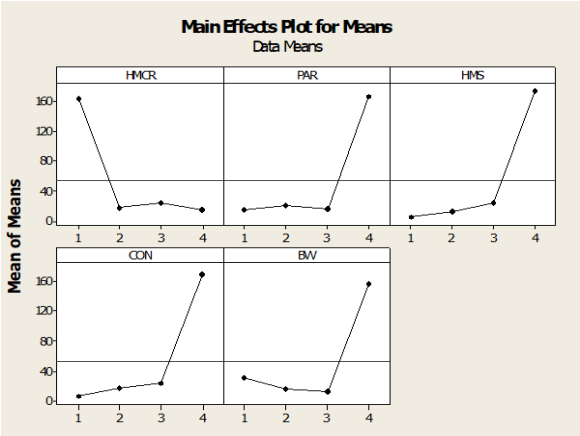
۲-۲-۲ – *تحلیل آماری*

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 انتخ می‌شود.

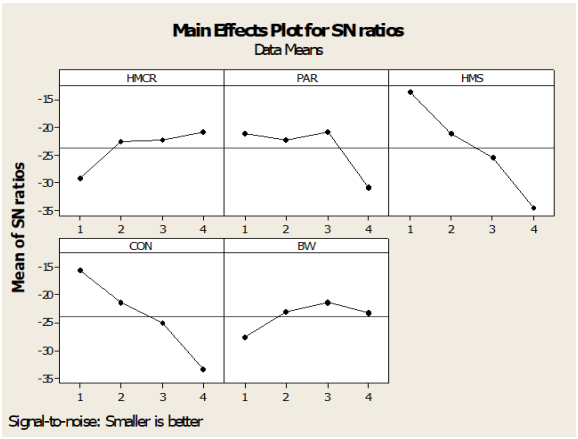
نسبت S/N برای فاکتورها به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

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

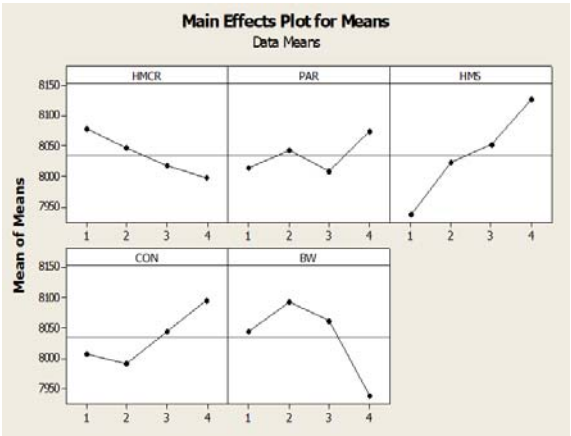
$$S/N = -10\log(\frac{\Sigma y^2}{n}) \quad \text{For smaller is better} \qquad (20)$$



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

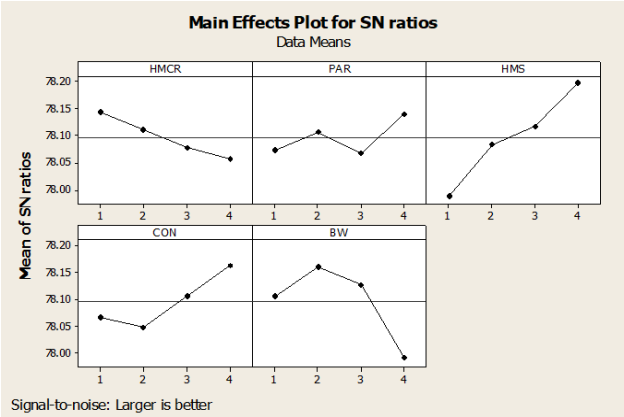


شکل(۳): نمودار اثرات اصلی برای نسبت‌های S/N یک تابع هدف



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

12- Harmony memory consideration rate
13 - Pitch adjustment rate
14- Distance Band Width



شکل (۵) : نمودار اثرات اصلی برای نسبت‌های S/N زمان‌های cpu

با توجه به طراحی آزمایشات تاگوچی میزان بهینه هر فاکتور پس از حل مدل برای تنظیم پارامترهای الگوریتم دست می‌آید.پارامتر HMCR=0.8 و میزان پارامترهای BW=10 ، HMS=150، CON=100 و PAR=0.7 برای بدست آوردن بهترین جواب‌ها با کمترین زمان حل و دقیق‌ترین نتایج و همچینین کمترین پراکندگی در اجراهای الگوریتم بدست می‌آید.

جدول (۲): عوامل و سطوح

Factor Level	HMC	PAR	HMS	CON[۱۵]	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

پارامترهای الگوریتم در ۴ سطح آزمایش شد و بر اساس هر سطح مقدار هر پارامتر به‌دست‌آمده 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.

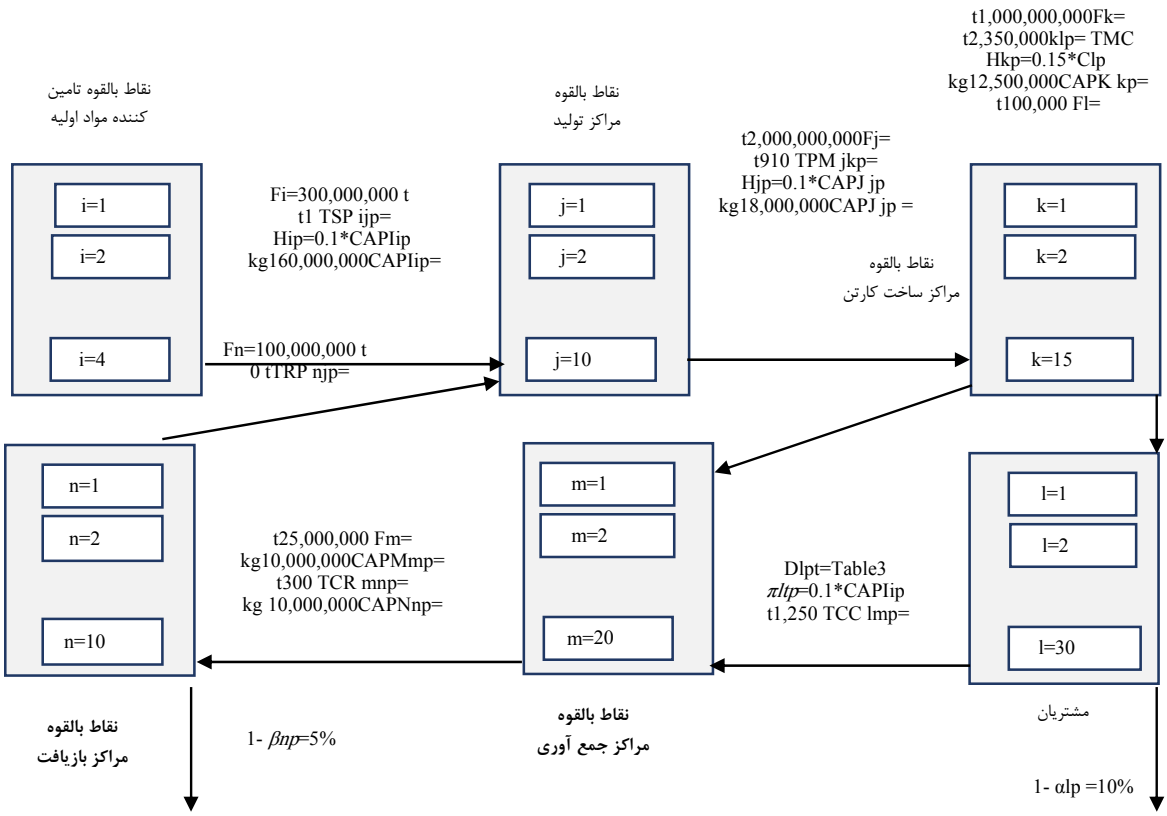
۳- نتیجه

۳-۱- مثال عددی

در یک مسئله به صورت فرضی، در آن ۴ مرکز مواد اولیه، ۱۰ کاغذ تولیدکننده، ۵ واحد کارتن‌سازی، ۳۰ مشتری نهایی، ۲۰ مرکز جمع آوری و ۱۰ بازیافت کننده وجود دارد و روابط فی‌مابین 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-افزارگمز[۱۶] (نسخه GAMS مورد استفاده: ۲۴,۸,۲ و نرم‌افزار متلب[۱۷] (نرم‌افزار MATLAB ورژن a۲۰۱۴ حل می‌شوند).از طریق الگوریتم جستجوی هارمونی حل گردید که نتایج از هر دو طریق جوابی نزدیک به یکدیگر داشته‌اند که نشان‌دهنده کارایی الگوریتم مورد استفاده می‌باشد و نتایج برای مساله با سایز بزرگتر که در آن ۱۰ مرکز مواد اولیه، ۲۰ کاغذ تولیدکننده، ۳۰ واحد کارتن‌سازی، ۵۰ مشتری نهایی، ۴۰ مرکز جمع آوری و ۲۰ بازیافت کننده وجود دارد توسط الگورتم جستجوی هارمونی حل گردید که نتایج به پیوست در جول 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.

15- Count of number

16 -GAMS
17-MATLAB



شکل(۶) : نمای کلی مسئله

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

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 می‌نمایند تا در نهایت نیاز ۳۰ مشتری نهایی با هزینه اعلام شده کل زنجیره تامین برطرف گردد. برهمین اساس ۷ مرکز بازیافت از بین ۲۰ مرکز بزیافت بالقوه انتخاب می‌گردند که مواد بازیافتی را به ۷ مرکز انتخاب شده از بین ۱۰ مرکز بازیافت بالقوه منتقل می‌نمایند.

جدول(۴): نتایج محاسبات

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

۳-۲- نتیجه و پیشنهادات

در گذشته بیشتر فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین بر روی عملیات تولید و توزیع متمرکز بوده است. این مقاله کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین حلقه بسته (تأسیس، حمل‌ونقل، تولید، موجودی، و خرید) در صنعت کاغذ، بسته‌بندی و چاپ را مورد بررسی قرار داد. برای حل مؤلفه‌های مسئله NP-Hard باید از یک الگوریتم ابتکاری یا فرا ابتکاری برای دستیابی به یک پاسخ معقول در زمان مناسب برای مسائل در سایز 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 محدودیت‌ها مسئله، تابع هدف کاهش هزینه‌های وارده بر زنجیره تامین در نظر گرفته شد و درادامه برای حل مدل ابتدا مسئله در سایز 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 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 سایز 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 می‌توان پیشنهادهایی از قبیل قراردادن سیستم نوبت‌دهی مواد بازیافتی در مراکز جمع‌آوری 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 مدل‌های چند تابع هدفه به صورت توأمان با کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین و در نظر گرفتن مدل‌های احتمالی به‌جای مدل‌های قطعی از دیگر پیشنهادات در این حوزه می‌باشد.

۴- منابع

[۱] فرهنگی، علی اکبر و صفرزاده، حسین. طراحی و تبیین الگوی ارتباطات سازمانی درفرایند کارآفرینی سازمانی (باتاکید بر شر کت های پخش سراسری ایران)." دو ماهنامه دانشور رفتار ۱، ۱۴ (۱۳۸۴): ۱-۱۷

[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., Pishvaee, 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., & Nourbakhash, 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., & Esmaeili, 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.