

بهینه سازی مسئله برنامه ریزی یکپارچه تولید - توزیع در یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی

ابوالفضل کاظمی^{۱*}، کیوان صرافها^۲، علیرضا علی نژاد^۳

۱- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران، abkaazemi@qiau.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

چکیده

برنامه ریزی یکپارچه تولید- توزیع یکی از مهم ترین مباحث مطرح شده در مدیریت زنجیره ی تأمین است. یک زنجیره ی تأمین یکپارچه شامل اجزای مختلفی از سفارش، تولید و توزیع می باشد که نقش مهمی را در کاهش هزینه های سیستم ساخت و خدمت رسانی بر عهده دارد. در این مقاله مدلی برای مسئله یکپارچه تولید- توزیع شامل تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتریان برای چند نوع محصول و با دوره های زمانی مختلف ارائه شده است. هدف در نظر گرفته شده کل هزینه های زنجیره شامل هزینه های تأمین مواد، هزینه تولید محصولات، هزینه نگهداری موجودی و هزینه های حمل و نقل بین سطوح را به حداقل می رساند. به دلیل پیچیدگی مسئله در ابعاد بزرگ و اثبات آن در ادبیات، برای حل مدل از الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی اجتماع ذرات استفاده کرده ایم. در نهایت به منظور اثبات عملکرد مناسب روش حل مسئله، الگوریتم پیشنهاد شده برای مسائل با ابعاد مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: زنجیره تأمین- بهینه سازی- برنامه ریزی تولید و توزیع- بهینه سازی اجتماع ذرات.

۱- مقدمه

امروزه شیوه های مدیریت تولید سنتی که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می کنند کارایی خود را از دست داده اند و زنجیره ی تأمین^۱ به عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارا می باشد. در این راستا، ارتباط نزدیکی بین طراحی و مدیریت جریان های (مواد، اطلاعات، مالی) و موفقیت زنجیره وجود دارد. بطوریکه اکثر شکست های تجارت الکترونیک را می توان به مشکلات ناشی از طراحی و مدیریت جریان های زنجیره ی تأمین نسبت داد [۱]. از اینرو این نگرش از فلسفه هایی است که در چند دهه اخیر بدلیل افزایش روز افزون رقابت پذیری و تلاش سازمان ها برای بقا، مورد توجه قرار گرفته است. رمز بقای سازمان ها در ارضای نیازهای مشتریان است و نگرش مدیریت زنجیره ی تأمین نه فقط موجودیت نهایی در ارتباط با مشتری، که محصول نهایی را تحویل می دهد، بلکه یک توالی از تأمین کنندگان را در این راستا مؤثر می داند و یکپارچه سازی^۲ سازمان های درگیر و هماهنگ سازی^۳ جریان های مواد، اطلاعات و مالی را برای بهبود رقابت پذیری زنجیره ی تأمین مورد بررسی قرار می دهد [۲]. بنابراین، مدیریت زنجیره ی تأمین یک مجموعه از روش هایی است که برای یکپارچه نمودن مؤثر تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و خرده فروشان به کار می رود، تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه های

¹ Supply Chain

² Integration

³ Coordination

کل زنجیره حداقل گردد و در ضمن نیاز مشتریان با سطح خدمت بالا برآورده شود [۳]. هسته اصلی مسائل مدیریت زنجیره تامین مربوط به برنامه ریزی تولید و توزیع است. مسئله برنامه ریزی تولید در زنجیره تامین تصمیماتی است که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده و زمان و تعداد آن به منظور برآورده کردن نیاز مشتری خواهد گرفت. مسئله برنامه ریزی توزیع در زنجیره تامین نیز در برگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع کننده یا به یک مشتری است. این مسائل وابستگی متقابلی به یکدیگر دارند از این رو بایستی آنها را به طور همزمان در یک روش یکپارچه بکار برد تا هزینه‌ها یا سود حاصل از آن در زنجیره مینیمم (ماکزیمم) شود [۴].

محققان زیادی در زمینه طراحی و مدل سازی اجزای مختلف مسئله یکپارچه تولید- توزیع به مطالعه پرداخته‌اند. ارینگوک و همکاران [۵] و چن [۴] مرور ادبیات کاملی از مسئله برنامه ریزی تولید- توزیع در زنجیره تامین انجام دادند. برای اولین بار این مسئله توسط ویلیامز [۶] معرفی گردید. او هفت الگوریتم ابتکاری برای کمینه کردن هزینه‌های تولید- توزیع در زنجیره تامین توسعه داد. در ادامه کوهن و لی [۷] سیستم‌های یکپارچه تولید- توزیع با تقاضاهای تصادفی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها یک مدل زنجیره تامین که ترکیبی از مواد اولیه، محصولات نیمه ساخته و نهایی کارخانه‌ها، مراکز توزیع، انبارها و مشتریان بود را ارائه کردند. جایارمان و پیرکول [۸] مدلی یکپارچه از نوع برنامه ریزی مختلط صفر و یک ارائه نمودند. تابع هدف آن هزینه‌های کل زنجیره شامل هزینه استقرار، عملیات و انبارها، هزینه متغیر تولید و توزیع، هزینه حمل و نقل مواد اولیه از فروشندگان به مراکز تولید و در انتها حمل و نقل محصولات نهایی به مشتریان از طریق انبارها را کمینه می‌کند. جن و سیاریف [۹] یک الگوریتم ژنتیک^۱ ترکیبی به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین چند محصولی و چند دوره ای ارائه ارائه نمودند. کاظمی و همکاران [۱۰] از یک نگرش الگوریتم ژنتیک به منظور حل مسئله برنامه ریزی تولید- توزیع در یک سیستم چند سطحی زنجیره تامین استفاده کردند. آنها از دو سناریو برای حل مدل استفاده کردند، در ابتدا یک روش متمرکز برای حل آن اعمال کردند و سپس یک سیستم مبتنی بر عامل برای حل در نظر گرفتند. آنها برای هر سطح یک الگوریتم ژنتیک بکار گرفتند تا سیستم بتواند بهترین جواب را به منظور اثر متقابل بین سطحها انتخاب کند. از کارهای اخیر نیز می‌توان به مقاله جولای و همکاران [۱۱] اشاره نمود که یک مدل برنامه ریزی تولید- توزیع یکپارچه‌ی با چندین سطح، چندین محصول و در چندین دوره‌ی زمانی ارائه دادند. آنها با استفاده از دو الگوریتم فرا ابتکاری به حل آن پرداخته و در ادامه برای بیان کاربرد مدل و کارایی روش‌های حل به اجرای یکسری آزمایشات محاسباتی پرداختند و با مقایسه آنها با یکدیگر به کارا بودن روش پیشنهادی خود اشاره کردند. در مدل آنها تولید توسط تمامی تولید کنندگان و در تمامی دوره‌ها در نظر گرفته شده است؛ در حالیکه ممکن است بعضی از تولید کنندگان امکان تولید در دوره ای را نداشته باشند و همچنین دارای یک ظرفیت تولید جهت تولید محصولات خود باشند. در این راستا، ما در این تحقیق به دنبال ارائه مدل جهت تصمیمات مربوط به برنامه ریزی یکپارچه تولید - توزیع در یک زنجیره تامین چند سطحی هستیم. هدف کمینه کردن هزینه‌های مربوط به تولید کننده شامل هزینه‌های تامین مواد اولیه از تامین کنندگان، هزینه حمل مواد، هزینه آماده‌سازی تولید، هزینه پردازش محصول، هزینه نگهداری مواد اولیه و محصول در محل تولید و هزینه‌های مربوط به توزیع کننده شامل هزینه حمل محصولات سفارش شده، هزینه نگهداری محصول و هزینه ارسال محصولات در نقاط مشتری در نظر گرفته شده است.

۲- بیان مسئله

در زنجیره‌ی تامین مورد مطالعه، مواد اولیه از چندین تامین کننده برای چندین تولید کننده تامین می‌گردد و سپس محصولات مختلف تولیدی توسط تولیدکنندگان برای توزیع کنندگان مختلف برآورده شده و در نهایت به دست مشتریان می‌رسد. در اینجا یک توزیع کننده می‌تواند از طریق یکسری انبارهای لجستیکی، محصولات نهایی دریافتی از یک تولید کننده را

¹ Genetic Algorithm

به دست مشتری برساند. هر تولید کننده می تواند محصولات مختلفی را بسازد و حتی می تواند تمامی محصولات را نیز تولید کند. تامین کنندگان قادر به تامین مواد اولیه ی محصولات در هر دوره می باشند و یک محدودیت ظرفیت حمل و نقل برای تمامی دوره ها در نظر گرفته شده است.

۲-۱- نمادها و پارامترها

S : تعداد تامین کنندگان ($s=1, 2, \dots, S$)

p : تعداد تولید کنندگان ($p=1, 2, \dots, P$)

d : تعداد توزیع کنندگان ($d=1, 2, \dots, D$)

c : تعداد مشتریان ($c=1, 2, \dots, C$)

t : تعداد دوره های زمانی ($t=1, 2, \dots, T$)

i : تعداد محصولات ($i=1, 2, \dots, I$)

m : تعداد مواد اولیه ($m=1, 2, \dots, M$)

DE_{dcit} : تقاضای محصول i از مشتری c به توزیع کننده d در دوره ی t

CP_{pit} : هزینه تولید محصول i توسط تولید کننده p در دوره ی t

CSE_{pit} : هزینه تدارک (آماده سازی) تولید برای محصول i توسط تولید کننده p در دوره ی t

CP_{pdit} : هزینه خرید محصول i از تولید کننده p توسط توزیع کننده d در دوره t

CH_{pit} : هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط تولید کننده p در دوره ی t

CT_{pdit} : هزینه حمل هر واحد محصول i از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره ی t

CSM_{spmt} : هزینه تامین هر واحد ماده اولیه نوع m از تامین کننده s به تولید کننده p برای محصول i در دوره ی t

CTM_{spmt} : هزینه حمل هر واحد ماده اولیه نوع m از تامین کننده s به تولید کننده p برای محصول i در دوره ی t

CH_{dit} : هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط توزیع کننده d در دوره ی t

CPT_{spt} : ظرفیت حمل و نقل مواد اولیه از تامین کننده s به تولید کننده p در دوره t

CPT_{pdt} : ظرفیت حمل و نقل محصولات از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

CPT_{dct} : ظرفیت حمل و نقل محصولات از توزیع کننده d به مشتری c در دوره ی t

CPP_{pit} : ظرفیت تولید محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

CPD_{dit} : ظرفیت مرکز توزیع d برای محصول i در دوره t

CPD_{dit} : ظرفیت کارخانه p برای محصول i در دوره t

CPD_{pmt} : ظرفیت کارخانه p برای ماده اولیه m در دوره t

β_{mi} : مقدار ماده اولیه نوع m مصرف شده در محصول i در دوره t

۲-۲- متغیرهای تصمیم

QP_{pit} : مقدار تولید برای محصول i توسط تولید کننده p در دوره t

QS_{pdit} : مقدار تامین برای محصول i از تولید کننده p به توزیع کننده d در دوره t

I_{pit} : موجودی محصول i برای تولید کننده p در دوره t

I_{pmt} : موجودی ماده اولیه نوع m برای تولید کننده p در دوره t

I_{dit} : موجودی محصول i برای توزیع کننده d در دوره t

QSM_{spmt} : مقدار تامین مواد اولیه نوع m برای محصول i از تامین کننده s به تولید کننده p در دوره t
 QSD_{cilt} : مقدار تامین برای محصول i از توزیع کننده d به مشتری c در دوره t
 W_{pit} : اگر محصول i توسط تولید کننده p در دوره t تولید شود در غیر این صورت صفر

۲-۳- توابع هدف و محدودیت ها

تابع هدف مربوطه عبارت است از کمینه کردن کل هزینه‌های زنجیره، که شامل کل هزینه‌های تامین مواد اولیه از تامین کنندگان که هزینه‌های خرید و حمل و نقل در آن در نظر گرفته شده است، کل هزینه‌های مربوط به آماده‌سازی تولید در صورتی که محصول i توسط تولید کننده p در آن دوره ساخته شود، هزینه تولید و هزینه نگهداری موجودی نزد تولید کننده و کمینه کردن هزینه‌های مربوط به توزیع کننده شامل هزینه خرید، هزینه حمل و نقل محصولات از تولید کننده به توزیع کننده، هزینه نگهداری موجودی در مراکز توزیع و هزینه انتقال محصولات از مراکز توزیع به مشتری است (رابطه ۱).

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T CSM_{spmt} \times QSM_{spmt} + \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T CT_{spmt} \times QSM_{spmt} \\ & + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T CH_{pmt} \times I_{pmt} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CSE_{pit} \times W_{pit} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CH_{pit} \times I_{pit} \\ & + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CP_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CT_{pdit} \times QS_{pdit} \\ & + \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CH_{dit} \times I_{dit} + \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T CT_{dcit} \times QS_{dcit} \end{aligned} \quad (1)$$

s.t.

$$I_{pmt} = I_{pmt-1} + \sum_{s=1}^S QSM_{spmt} - \sum_{i=1}^I \beta_{mi} \times QP_{pit} \quad \forall p, m, t \quad (2)$$

$$I_{pit} = I_{pit-1} + QP_{pit} - \sum_{d=1}^D QS_{pdit} \quad \forall p, i, t \quad (3)$$

$$I_{dit} = I_{dit-1} + \sum_{p=1}^P QS_{pdit} - \sum_{c=1}^C QS_{dcit} \quad \forall d, i, t \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^M QSM_{spmt} \leq CPT_{spt} \quad \forall s, p, t \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I QS_{pdit} \leq CPT_{pdt} \quad \forall p, d, t \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I QS_{dcit} \leq CPT_{dct} \quad \forall d, c, t \quad (7)$$

$$QP_{pit} \leq CPP_{pit} \times W_{pit} \quad \forall p, i, t \quad (8)$$

$$I_{pmt} \leq CPD_{pmt} \quad \forall p, m, t \quad (9)$$

$$I_{pit} \leq CPD_{pit} \quad \forall p, i, t \quad (10)$$

$$I_{dit} \leq CPD_{dit} \quad \forall d, i, t \quad (11)$$

$$QP_{pit} \geq \sum_{d=1}^D QS_{pdit} \quad (12)$$

$$QP_{pit}, QS_{pdit}, QS_{dcit}, I_{pmt}, I_{pit}, I_{dit}, QSM_{spmt} \geq 0, \quad I_{pm0}, I_{pi0}, I_{di0} = 0 \quad (13)$$

$$W_{pit} \in \{0,1\} \quad (14)$$

محدودیت (۲)، (۳) و (۴) محدودیت‌های تعادلی موجودی برای تولید کنندگان و تعادلی موجودی برای توزیع کنندگان را نشان می‌دهد. روابط (۵)، (۶) و (۷) محدودیت‌های ظرفیت حمل و نقل به ترتیب از تامین کننده به تولید کننده، از تولید کننده به توزیع کننده و از توزیع کننده به مشتری را نمایش می‌دهد. محدودیت (۸) نشان‌دهنده‌ی ظرفیت تولید برای تولید کننده‌ای است که محصول i را تولید می‌کند. روابط (۹)، (۱۰) و (۱۱) محدودیت‌های ظرفیت مراکز تولید و توزیع برای نگهداری موجودی مواد اولیه و محصول نهایی است. محدودیت (۱۲) بیانگر این است که مقدار تولید کارخانه بیشتر از مقدار ارسالی به تمامی توزیع کنندگان است. محدودیت (۱۳) بیانگر غیر منفی بودن متغیرها و محدودیت (۱۴) مربوط به متغیر صفر و یک مسئله است.

۳- روش تحقیق

از آنجایی که تعداد زیاد محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم و صفر و یک بودن متغیر تصمیم باعث پیچیدگی مسئله گردیده است و با توجه به NP-Hard بودن مسئله که توسط جولای و همکاران [۱۱] ارایه شد و همچنین بالا بودن زمان محاسباتی برای روش‌های حل دقیق، الگوریتم فرا ابتکاری بهینه‌سازی اجتماع ذرات^۱ (PSO) برای حل مدل در سایز بزرگ پیشنهاد شده است.

۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات توسط کندی و ابرهارت [۱۲] ابداع شد. این الگوریتم از رفتار جمعی حیوانات (مانند دسته‌ی پرندگان و اجتماع ماهی‌ها) الهام گرفته شده است. اما برخلاف الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی اجتماع ذرات از عملگرهای تکاملی‌ای مثل تقاطع و جهش استفاده نمی‌کند. در این الگوریتم به هر سطر از ماتریس (معادل یک کروموزوم در الگوریتم ژنتیک) یک ذره^۲ گفته می‌شود. این ذرات حاوی مقادیر متغیرها هستند و به صورت صفر و یک رمزگذاری نمی‌شوند. هر ذره با سرعت خاصی بر روی رویه هزینه گردش می‌کند. ذرات سرعت و موقعیت خود را به صورت روابط زیر، بر اساس بهترین مقدار فردی^۳ و کلی^۴ بهنگام می‌کنند.

$$x_{i-d}^{k+1} = x_{i-d}^k + V_{i-d}^{k+1} \quad (15)$$

$$V_{i-d}^{k+1} = \omega \times V_{i-d}^k + c_1 r_1 (pbest_{i-d} - x_{i-d}^k) + c_2 r_2 (gbest_d - x_{i-d}^k) \quad (16)$$

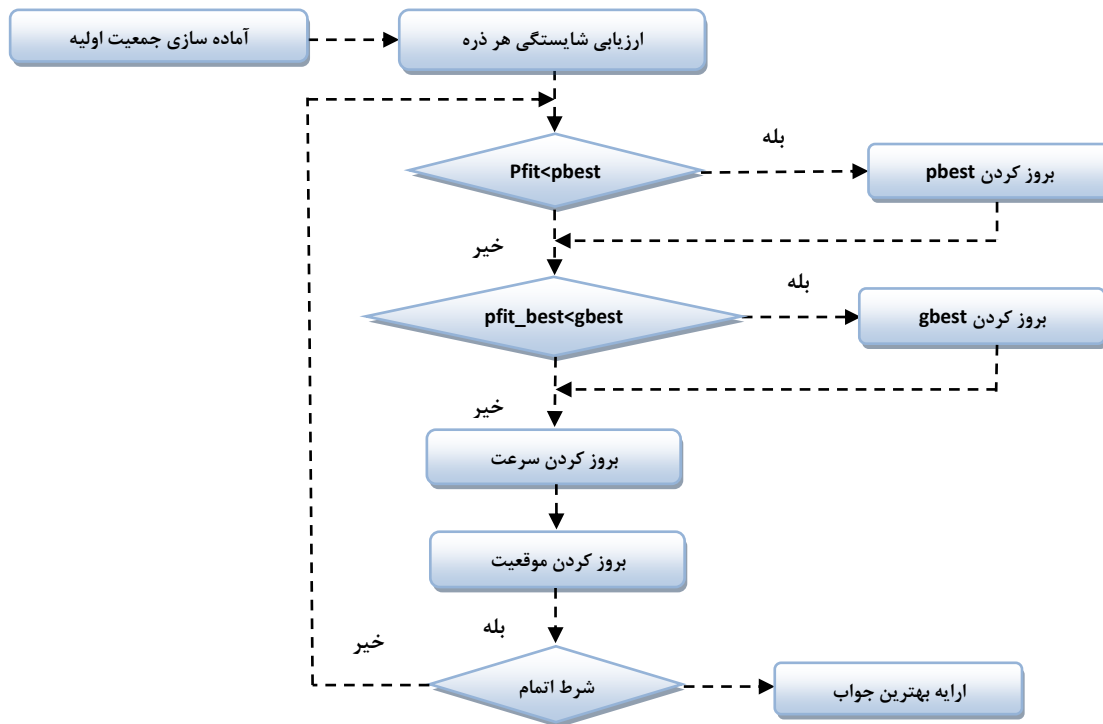
¹ Particle Swarm Optimization

² Particle

³ Personal Best

⁴ Global Best

ω وزن اینرسی^۱ است که مقدار حرکت ذره را کنترل می‌کند. دومین عبارت در رابطه‌ی (۱۶) نشان دهنده‌ی چیزی است که ذرات درونشان یاد می‌گیرند که به پارامتر یادگیری^۲ شناخته می‌شوند. اختلاف بین بهترین ذره و مقدار جاری با یک ضریب یادگیری c_1 و یک مقدار تصادفی یکنواخت r_1 در بازه‌ی [۰ و ۱] تکثیر می‌شود. در سومین عبارت که پارامتر اجتماعی^۳ نامیده می‌شود، اختلاف بین بهترین گروه و مقدار فعلی ذره با یک ضریب اجتماعی c_2 و یک عدد تصادفی یکنواخت زیاد می‌گردد. بعد از اینکه الگوریتم بردار سرعت^۴ هر ذره را بهنگام کرد، سرعت محاسبه شده را به موقعیت یا مقدار ذرات اضافه می‌کند. بهنگام سازی سرعت ذرات بر اساس بهترین مقدار فردی (راه‌حلی با کمترین هزینه که تاکنون توسط یک ذره پیدا شده) که (pbest) نامیده می‌شود و بهترین مقدار کلی (راه‌حلی که دارای کمترین هزینه در جمعیت جاری است) تحت عنوان (gbest) انجام می‌شود. اگر بهترین راه‌حل محلی دارای هزینه‌ای کمتر از هزینه‌ی راه‌حل سراسری جاری باشد، بهترین راه‌حل محلی جایگزین بهترین راه‌حل سراسری می‌شود. الگوریتم اجتماع ذراتی که با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) جمعیت خود را به‌روز کند، PSO پایه یا استاندارد نامیده می‌شود [۱۳]. فلوجارت الگوریتم PSO در شکل (۱) ملاحظه می‌شود.



شکل ۱- فلوجارت الگوریتم PSO

۳-۲- ارزیابی تابع هدف و بررسی محدودیت‌ها

با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده در مدل، بعضی از ذرات (جواب‌ها) تولید شده ممکن است موجه^۵ نباشند. از

^۱ Inertia Weight

^۲ Learning Parameter

^۳ Social Parameter

^۴ Velocity

^۵ Feasible

طرفی در ادبیات الگوریتم های فرا ابتکاری شناخته شده ترین روش برای بررسی محدودیت ها، سیاست توابع جریمه^۱ است. به عبارت دیگر برای کنترل جواب های غیر موجه^۲ بایستی سیاست جریمه اعمال گردد. در الگوریتم پیشنهادی، جریمه به صورت یک عدد ثابت خیلی بزرگ تعریف می گردد. مقدار جریمه زمانی که یک جواب موجه است برابر صفر خواهد بود و زمانی که یکی از محدودیت ها رضایت بخش نباشد مقداری غیر صفر خواهد گرفت. با در نظر گرفتن فرم کلی محدودیت ها به صورت $g(x) \leq b$ ، مقدار جریمه برای یک جواب به صورت زیر تعریف می گردد [۱۴]:

$$P(x) = M \times \text{Max} \left\{ \left(\frac{g(x)}{b} - 1 \right), 0 \right\} \quad (17)$$

به طوریکه M ، $g(x)$ و $P(x)$ به ترتیب نشان دهنده یک مقدار بزرگ، محدودیت و جریمه اعمال شده برای جواب x است. هنگامی که جواب موجه است مقدار جریمه برابر صفر خواهد بود و در غیر این صورت مقدار جریمه به تابع هدف اضافه خواهد شد.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش با ارایه مثال های مختلف به حل مدل پیشنهادی و همچنین ارزیابی کارایی الگوریتم مورد نظر می پردازیم. الگوریتم پیشنهادی با نرم افزار MATLAB(R2010a) کد شده که بر روی یک نوت بوک Intel Core i5-450M, 2.53 GHz با چهار گیگا بایت RAM اجرا گردیده است. تقاضا از توزیع نرمال با میانگین ۴۰۰ و انحراف استاندارد ۲۰ و بقیه مقادیر پارامترهای استفاده شده در این تحقیق، در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) - مقادیر پارامترها برای مسائل نمونه

پارامتر	تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع
DE_{dct}	Norm(۴۰۰ و ۲۰)	CT_{dct}	Uniform(۷ و ۱۲)
CP_{pit}	Uniform(۳۵ و ۴۵)	CTM_{spmt}	Uniform(۸ و ۱۲)
CSE_{pit}	Uniform(۷۵ و ۱۵۰)	CPD_{pit}	Uniform(۳۰ و ۴۰)
W_{pit}	Uniform(۰ و ۱)	CPD_{pmt}	Uniform(۱۵ و ۲۵)
CP_{pdt}	Uniform(۵۰ و ۶۰)	CPT_{spt}	Uniform(۳۵ و ۷۰)
CH_{pit}	Uniform(۱۰ و ۱۵)	CPT_{pdt}	Uniform(۳۰ و ۶۰)
CT_{pdt}	Uniform(۸ و ۱۳)	CPT_{dct}	Uniform(۳۰ و ۶۰)
CH_{dit}	Uniform(۱۰ و ۱۵)	CH_{pmt}	Uniform(۱۰ و ۱۵)
CSM_{spmt}	Uniform(۱۰ و ۲۰)	CPP_{pit}	Uniform(۴۵ و ۵۰)
CPD_{dit}	Uniform(۴۰ و ۴۵)	β_{mi}	Uniform(۰/۳ و ۰/۸)

در این بخش مسائل به دو دسته ی سائز کوچک و بزرگ دسته بندی شده اند. برای مسائل با سائز کوچک، جواب های بهینه به صورت برنامه ریزی ریاضی و به کمک نرم افزار Lingo 11 بدست آمده اند. همچنین با استفاده از الگوریتم پیشنهادی نیز به اجرای این دسته مسائل پرداخته ایم که نتایج و درصد بهینگی آن برای پنج مسئله در جدول (۲) نشان داده شده است.

¹ Penalty Function Policy

² Infeasible

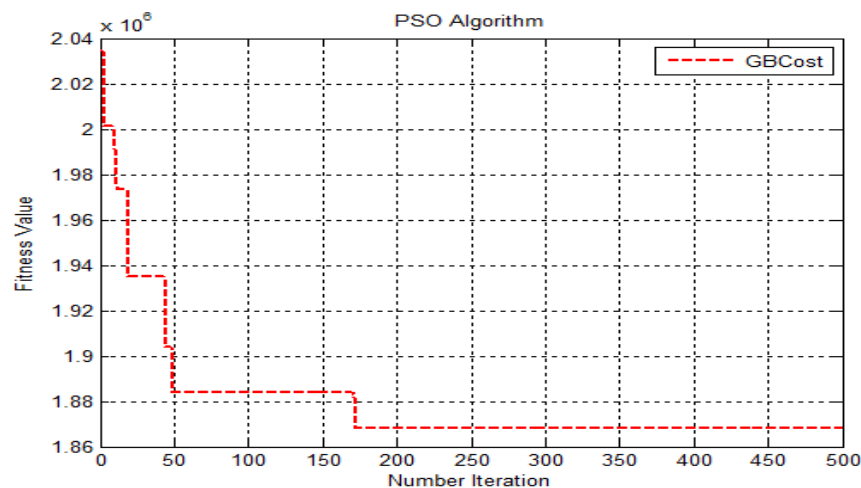
جدول (۲) - نتایج و ارزیابی عملکرد مسائل در سایز کوچک

مسئله	سایز مسئله							جواب بهینه (تومان)	PSO	درصد بهینگی (%)
	s	p	d	c	i	t	m			
۱	۱	۲	۲	۲	۱	۲	۱	۲۷۹۴۵	۲۷۹۴۵	۱۰۰
۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۲	۳۳۱۵۳	۳۳۱۵۳	۱۰۰
۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۵۰۶۱۵	۵۰۷۰۲	۹۹/۸

برای مسائل با سایز بزرگ نیز با توجه به افزایش سایز مسئله و عدم ارایه جواب توسط نرم افزار LINGO در این سایزها فقط از روش فرا ابتکاری پیشنهادی استفاده شده است که نتایج آن برای هشت مسئله با در نظر گرفتن $C_1 = C_2 = ۲$ و $\omega = ۰/۹$ ، اندازه جمعیت برابر ۵۰ در ۵۰۰ تکرار در جدول (۳) ارایه شده است. در این جدول علاوه بر بهترین جواب، مدت زمان اجرای الگوریتم به ثانیه نیز نشان داده شده است. نمودار مقادیر تابع هدف در تکرارهای مختلف برای مسئله ۵ در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج و ارزیابی عملکرد الگوریتم ارایه شده در مسائل بزرگ

مسئله	سایز مسئله							PSO	
	s	p	d	c	i	t	m	بهترین جواب (تومان)	زمان اجرا (ثانیه)
۱	۳	۳	۳	۴	۳	۵	۳	۱۴۰۴۳۸	۶/۸۹
۲	۳	۳	۴	۶	۴	۵	۳	۳۸۲۷۸۵	۷/۱۳
۳	۵	۴	۴	۶	۴	۶	۴	۶۹۵۴۳۲	۸/۵۷
۴	۵	۵	۵	۵	۵	۶	۴	۷۳۵۱۱۹	۹/۷۴
۵	۶	۸	۶	۷	۶	۹	۵	۱۸۶۹۴۵۳	۱۶/۹۲
۶	۸	۱۰	۸	۱۲	۸	۱۰	۸	۳۰۱۶۸۲۳	۳۳/۲۲
۷	۱۲	۱۵	۱۰	۱۵	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰۳۵۸۴۳۳	۸۶/۵۷
۸	۱۵	۲۰	۱۵	۲۰	۱۲	۱۵	۱۲	۳۵۸۷۷۵۵۲	۲۴۵/۸۶



شکل ۲- نمودار همگرایی PSO در مسئله شماره ۵

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، مدلی برای مسئله‌ی برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- توزیع در یک زنجیره‌ی تامین چهار سطحی شامل تامین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان ارائه گردید. در مدل مسئله کل هزینه‌های زنجیره شامل هزینه تامین و حمل مواد اولیه از تامین کننده، هزینه‌های آماده سازی و تولید، هزینه حمل و نگهداری موجودی در سطح تولید کننده و همین طور برای مراکز توزیع و تامین آن برای مشتریان به حداقل رسانده شده است.

از آنجایی که مسئله در سایز بزرگ جزء مسائل NP-Hard به حساب می‌آید، لذا به منظور حل از الگوریتم فرا ابتکاری PSO بهره جستیم. در ابتدا مسئله را سایز کوچک حل کرده و سپس آن را در سایز بزرگ به مرحله‌ی اجرا در آوردیم و بهترین جواب و زمان اجرای الگوریتم را مورد ارزیابی قرار دادیم که نتایج آن نشان داده شده است. برای تحقیقات آتی می توان مدل را به صورت یک مسئله چند هدفه با افزایش سطح خدمت به مشتریان با در نظر گرفتن عدم قطعیت در برخی از پارامترها مانند تقاضا، ظرفیت حمل و نقل و ظرفیت تولید در نظر گرفت و آن را با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی بررسی نمود.

مراجع

- 1- Chen, C.I., Lee, W.C., Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices, *Comput Chem Eng*, 28:1131-1141, 2004.
- 2- Simchi, L.V., Kaminsky, P., A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain, New York, Mc Graw Hill, (2000).
- 3- Patterson, L.J., Kim, M., Strategic sourcing: a systematic approach to supplier evaluation, selection and development, *Caps research*, Vol. 4, pp:112-125, 2000.
- 4- Chen, Z., Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review, In: Simchi-Levi D., Wu SD., Shen Z-J (eds), Chapter 17 of the book *handbook of quantitative supply chain analysis: modeling in the e-business era*, Kluwar, Dordrecht, (2004).
- 5- Erenguc, S.S., Simpson, N.C., Vakharia, A.J., Integrated production/distribution planning in supply chains: an invited review, *Eur J Oper Res*, 115:219-236, 1999.
- 6- Williams, J.F., Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: theory and empirical comparisons, *Manage Science* 27(3), pp.336-352, 1981.
- 7- Cohen, M.A., Lee, H.L., Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks, *Journal of Manufacture Operation Management* 2, pp.81-104, 1989.
- 8- Jayaraman, V., Pirkul, H., planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities, *Eur J of oper res*, Vol. 133, pp.394-408, 2001.
- 9- Gen, M., Syarif, A., Hybrid genetic algorithm for multi-time period production distribution planning, *Computer and Industrial Engineering* 48, pp. 799-809, 2005.
- 10- Kazemi, A., Fazel Zarandi, M.H., Moattar Husseini, S.M., A multi-agent system to solve the production-distribution planning problem for a supply chain: a genetic algorithm approach, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44:180-193, 2009.
- 11- Jolai F., Razmi, J., Rostami, N.K., A fuzzy goal programming and meta heuristic algorithms for solving integrated production: distribution planning problem, *Int J Adv Manuf Technol*, 57:144-149, 2010.
- 12- Kennedy, J., Eberhart, R.C., Particle Swarm optimization, *proc. IEEE Int. conf. on Neural Networks*, IV. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, pp. 1942-1948, 1995.
- 13- Shi, Y., Particle Swarm Optimization, *IEEE Neural networks society*, pp.8-13, 2004.
- 14- Yeniay, O., Ankare, B., Penalty function method for constrained optimization with genetic algorithms, *Mathematical and computational application*, 10: 45-56, 2005.