ارائه مدل یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تأخیر مجاز در پرداخت

رامین وهابی[1]، مهدی سیف برقی[2]*

دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹

چکیده

در مسائل مربوط به انتخاب تأمین‌کننده، در نظر گرفتن منافع هر دو طرف معامله یعنی خریدار و تأمین‌کننده به طور همزمان یکی از عوامل موفقیت در بهبود کارایی مدیریت زنجیره تأمین و ارتباط بلند مدت با تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین است. در حقیقت مدل‌های یکپارچه انتخاب تأمین کننده به همین منظور مطرح می‌گردند. این تغییر نگرش از بهینه‌سازی مدل های منفرد از منظر خریدار به بهینه‌سازی سراسری از منظر کل زنجیره تأمین، باعث ایجاد موازنه در سود بردن هر یک از این شرکا در زنجیره تأمین منجر خواهد گشت. در این مقاله، یک مدل یکپارچه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه می‌گردد که در آن هر یک از تأمین‌کنندگان برای تشویق خریدار به خرید بیشتر از وی و کسب سهمی از بازار، مدت مجاز تأخیری در پرداخت برای خریدار در نظر می‌گیرند و هدف مدل بیشینه کردن سود کل زنجیره تأمین می‌باشد. مدل ارائه شده، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته است و برای حل آن از نرم‌افزار لینگو استفاده می‌گردد. همچنین الگوریتم ژنتیک نیز برای این مسئله توسعه داده شده و در نهایت جواب‌های این دو روش با هم مقایسه و نتایج آن ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، تأخیر مجاز در پرداخت، بهینه‌سازی یکپارچه، الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

تأمین‌کنندگان، جزء مکمل فرآیند زنجیره تأمین یک سازمان به‌شمار می‌آیند، در مقابل مدیریت عرضه‌کنندگان به دلیل اینکه آنان جزء سازمان محسوب نمی‌شوند، نیازمند مهارت تخصصی در مذاکره می‌باشند. لذا تأمین‌کنندگان باید به‌درستی انتخاب شوند چراکه می‌توانند اثرات بسیار مثبت و یا بسیار زیانباری را در عملکرد کلی یک سازمان به وجود آورند. در سال‌های اخیر توجه و تأکید بسیاری بر اهمیت انتخاب تأمین‌کنندگان شده است. در دنیای پر رقابت و پرسرعت امروز که بر پایه انتظارات بالای مصرف‌کنندگان برای کیفیت بالای محصولات استوار است، سازمان‌ها در فشارند که از هر فرصتی برای بهینه کردن امتیازات رقابتی و فرآیندهای تجاری خود بهره ببرند. برای رسیدن به این منظور مدیران و محققان به یک نتیجه واحد رسیده‌اند که به منظور اینکه یک سازمان در محیط رقابتی باقی بماند باید با شرکاء زنجیره عرضه کار کرده و بدین وسیله عملکرد کل زنجیره را بهبود بخشند. در این میان تأمین‌کنندگان می‌توانند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شرکا در زنجیره محسوب شوند. لذا تصمیم‌گیری برای انتخاب این شرکا از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه این حقیقت آنها را به سمتی سوق می‌دهد تا یک شبکه ایجاد نموده و بدین منظور، تأمین‌کنندگان و خریداران برای سود دو طرف باید به‌عنوان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی قزوین واحد علوم و تحقیقات، پست الکترونیک: ramin.vahabi@yahoo.com
۲- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیک: seifbar@yahoo.com، نشانی: قزوین، خیابان دانشگاه، بلوار نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، مجتمع شهید عباسپور

شرکای راهبردی در یک زنجیره تأمین با مدت مشارکت طولانی رفتار نمایند. این حقیقت باعث به وجود آمدن مدل‌های یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده می‌گردد.

امروزه، شرکت‌های تأمین‌کننده به علت کمبود نقدینگی و تلاش برای مشارکت بیشتر در بازار و کسب سهم قابل توجهی از بازار، نسبت به ایجاد سیاست‌های تشویقی مانند انواع تخفیفات، ارائه مدت مجاز در تأخیر و غیره اقدام می‌کنند، در این مقاله سیاست تأخیر در پرداخت مطرح می‌گردد که در بسیاری از شرکت‌های نوپا جهت جلب مشتری بیشتر و در عین حال عدم تحریک رقبای خود به کاهش قیمت‌های آنها به‌عنوان روش بازاریابی نوین و کارا در صنعت، کاربرد بسیاری داشته است که می‌تواند در کنار سیاست‌های تشویقی دیگر مانند تخفیفات قرار گیرد.

برای اولین بار، ایده بهینه‌سازی یکپارچه برای خریدار و تأمین‌کننده، توسط گویال[1] (۱۹۷۶)، مطرح شد[۱]. او مدل اندازه‌گیری اقتصادی پیوسته را برای یک تأمین‌کننده و یک خریدار معرفی نمود که قادر بود مجموع هزینه‌های مشترک زنجیره تأمین را کمینه کند. گابالا[2] (۱۹۷۴)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح را توسعه داد که در آن هزینه خرید را با توجه به تخفیف، به‌ازای مقدار سفارش و محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده حداقل سازد[۲].

ناراسیمهن و استوینوف[3] (۱۹۸۶) از مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح تک هدفه بهره بردند تا مجموعه هزینه‌های مرتبط با حمل‌ونقل و هزینه خطا را برای بهره‌برداری غیرمؤثر از ظرفیت تأمین‌کننده حداقل نمایند[۳].

تمپلمیر[4] (۲۰۰۲) الگوریتمی ابتکاری را برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده در صورت وجود تقاضای پویا و عدم محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده توسعه داد[۴]. مورتی[5] و همکاران (۲۰۰۴)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده را درجایی‌که هدف کمینه‌نمودن هزینه‌های منبع‌یابی و مسئله اندازه‌گیری انباشته در صورت وجود هزینه ثابت، محدودیت ظرفیت مشترک و تخفیف براساس حجم برای دسته‌ای از موارد بود، مخاطب قرار دادند. آنها یک برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح ارائه و آن را توسط آزادسازی لاگرانژ حل نمودند[۵].

لی و وانگ[6] (۲۰۰۷)، ضمن مروری بر مدل‌های هماهنگی زنجیره تأمین، توانستند متمرکز یا غیرمتمرکز بودن زنجیره تأمین را تهیه نمایند. آنها به این نتیجه رسیدند که تعداد زیادی مقاله در موضوع زنجیره تأمین متمرکز به رشته تحریر درآمده است، اما به دلیل سختی زنجیره تأمین غیرمتمرکز کمتر به آن پرداخته شده است[۶]. خلجانی[7] و همکاران (۲۰۰۹)، مسئله هماهنگی بین یک خریدار و چند تأمین‌کننده را در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده در نظر گرفتند. در مدل آنها مجموعه هزینه‌های زنجیره تأمین شامل هزینه‌های خریدار و هزینه‌های تأمین‌کنندگان کاهش می‌یافت. آنها در حل این مدل برنامه‌ریزی مختلط از عدد صحیح غیرخطی بهره بردند که تمام ترکیبات ممکن از تأمین‌کنندگان در نظر گرفته می‌شد[۷].

آواستی[8] و همکاران (۲۰۱۰)، مسئله انتخاب تأمین‌کننده را برای یک تولیدکننده در نظر گرفتند که تأمین‌کنندگان موجود ممکن است قیمت‌های متفاوتی ارائه دهند و محدودیت‌هایی بر حداقل و حداکثر میزان سفارش داشته باشند[۸]. حجی[9] و همکاران (۲۰۱۰)، مسئله ترکیبی انتخاب تأمین‌کننده و کنترل کالا گیری و تولید را در نظر گرفتند. مسئله آنان به‌وسیله علاقه‌مندی‌های متضاد بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و مشتریان توصیف می‌شود. نقطه قوت آنها توسعه و حل مدل یکپارچه و ریاضی بود که به راهبردهای اشتراک اطلاعات برای انتخاب تأمین‌کننده، بازپرسازی و برای (s, S) تولید منجر می‌گشت[۹].

در سال‌های اخیر به مسئله یکپارچگی زنجیره تأمین اهمیت بیشتری داده شد و تحقیقاتی بر مسئله انتخاب تأمین‌کننده یکپارچه انجام گرفت. کمالی[10] و همکاران (۲۰۱۱)، در تحقیقی مسئله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده را با در نظر گرفتن چندین تابع هدف تحت شرایط تخفیف مقداری ارائه و از دو الگوریتم فرا ابتکاری جهت حل مسئله بهره بردند. آنها نشان دادند با در نظر گرفتن مدل یکپارچه نسبت به مدل‌های منفرد، هزینه‌های فروشندگان کاهش و هزینه‌های خریدار به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند[۱۰]. ایمی[11] و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل چند دوره‌ای تحت شرایط تخفیف مقداری جهت

1- Goyal
2- Gaballa
3- Narasimhan & Stoynof
4- Tempelmeier
5- Murthy

6- Li & Wang
7- Kheljani
8- Awasthi
9- Hajji
10- Kamali
11- Amy

کاهش هزینه‌های زنجیره، در شرایطی که کمبود مجاز نباشد و با در نظر گرفتن هزینه حمل‌ونقل، این مدل را توسط الگوریتم ژنتیک حل نمودند[۱۱]. علی‌آبادی[1] و همکاران (۲۰۱۳)، یک الگوریتم ژنتیک دو لایه جهت حل مسئله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند که در لایه اول انتخاب تأمین‌کنندگان و در لایه دوم مقدار بهینه سفارش مشخص می‌گردید[۱۲].

در مسائل مربوط به تعیین اندازه انباشته اقتصادی و مسائل قیمت‌گذاری بحث پرداخت‌های تأخیری بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. برای اولین بار، سیاست تأخیر در پرداخت توسط گویال[2] در سال ۱۹۸۵ مطرح گردید[۱۳]. این سیاست به‌عنوان یک سیاست تشویقی برای جذب بیشتر مشتریان از سوی تأمین‌کنندگان ارائه می‌شود که در آن تأمین‌کننده به خریدار اجازه می‌دهد تا مبلغ خرید خود را پس از دریافت کالا، در مدت مجاز معین شده، بدون اضافه کردن بهره به اصل مبلغ بپردازد. اما در صورت تجاوز از این مهلت مقرر، تأمین‌کننده بابت مابقی موجودی کالای پرداخت نشده بهره دریافت می‌کند.

تنگ[3] (۲۰۰۲)، تصحیحی بر این تحقیق انجام داد و در آن تأکید کرد که قیمت فروش کالا توسط خریدار به مشتری لزوماً با هزینه خرید آن از تأمین‌کننده برابر نیست و بدین ترتیب فرمول میزان سفارش اقتصاد را تغییر داد[۱۴]. وان[4] و همکاران (۱۹۹۶)، مدلی برای تعیین همزمان قیمت خرید بهینه‌و مقدار سفارش بهینه‌ارائه کردند[۱۵]. سرکر[5] و همکاران (۲۰۰۰)، مدلی برای تعیین سیاست سفارش بهینه برای کالاهای فسادپذیر تحت شرایط تورم و همچنین کمبود به شکل پس‌افت گسترش داد[۱۶]. چانگ و دای[6] (۲۰۰۱)، مدلی برای سفارش بهینه برای کالاهای فسادپذیر تحت شرایط پس‌افت جزئی در نظر گرفتند و فرض کردند که دو نوع تأخیر در سفارش شامل قبل از اتمام کامل موجودی خریدار و بعد از آن مجاز است[۱۷]. شین و هوانگ[7] (۲۰۰۳)، بر شرایطی که مدت مجاز تأخیر پیشنهادی از سوی تأمین‌کنندگان وابسته به میزان سفارش خریداران از آنها باشد تحقیق نمودند[۱۸]. سانا و چادوری[8] (۲۰۰۸)، یک راهبُرد برای بیشینه کردن سود خریدار در شرایط امکان تأخیر مجاز در پرداخت و نیز وجود تخفیف قیمتی طراحی کردند، با فرض اینکه کمبود مجاز نیست و تأمین‌کنندگان برای دوره‌های تأخیر مجاز، تخفیفات مختلفی در نظر گرفتند[۱۹]. هو[9] و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند، با این فرض که تقاضا به قیمت فروش خریدار بستگی دارد و تأمین‌کنندگان دو نوع سیاست تشویقی شامل تأخیر در پرداخت و تخفیف در صورت پرداخت نقدی ارائه می‌کنند[۲۰]. اویانگ[10] و همکاران (۲۰۰۹)، یک مدل سفارش اقتصادی تحت شرایط تأخیر در پرداخت ارائه نمودند که در آن قیمت فروش خریدار بسیار بیشتر از قیمت خرید از تأمین‌کننده است و بهره وام بانک لزوماً بیشتر از نرخ بازگشت سرمایه خریدار نیست[۲۱]. کرنگ و تن[11] (۲۰۱۰)، یک مدل تعیین اندازه سفارش اقتصادی ارائه نمودند که در آن میزان مجاز تأخیر در پرداخت ارائه شده از تأمین‌کنندگان تابعی از مقدار سفارش به آنان بود[۲۲].

با مطالعه بر تحقیقات انجام شده در زمینه مسئله انتخاب تأمین‌کننده، می‌توان دریافت که تاکنون توجهی به استفاده از سیاست تشویقی تأخیر در پرداخت در مدل‌های یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده نشده است. برای رفع این شکاف در مطالعات انجام گرفته در زمینه مسائل یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده مقید، در مقاله پیش رو از سیاست تأخیر در پرداخت‌در مدل یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده استفاده می‌شود. همچنین از دو روش برای حل مثال‌های عددی استفاده می‌گردد. ابتدا مدل ارائه شده با نرم‌افزار لینگو حل می‌گردد، سپس از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن جواب‌های نزدیک به بهینه در اندازه بزرگ مسائل بهره برده می‌شود. در انتها نیز دو روش مقایسه شده و نتایج ارائه می‌شود.

۲- تعریف مسئله و مدل‌سازی

در این تحقیق خریداری را در نظر بگیرید که قصد خرید محصولی را از تعدادی تأمین‌کننده بالقوه دارد. درحالی‌که هر یک از تأمین‌کنندگان به‌تنهایی قادر نیستند کل تقاضای خریدار را جوابگو باشند، بنابراین محصول باید از تعدادی از آنان

1- Aliabadi
2- Goyal
3- Teng
4- Whan
5- Sarker
6- Chang & Dye
7- Shinn & Hwang
8- Sana & Chaudhuri
9- Ho
10- Ouyang
11- Kreng & Tan

خریداری شود. هدف مسئله، انتخاب از میان تأمین‌کنندگان بالقوه و تعیین مقدار سفارش به هر یک از آنها است به‌طوری که سود کل زنجیره تأمین بیشتر گردد. هر تأمین‌کننده جهت کسب سهم بیشتر از میزان سفارش، اقدام به ارائه سیاست تأخیر مجاز در پرداخت می‌کند. این سیاست با توجه به پشتوانه مالی و میزان نقدینگی شرکت تأمین‌کننده، به خریدار پیشنهاد می‌گردد. تأمین‌کننده پس از تولید و تحویل کالا به خریدار، مهلتی را برای خریدار در نظر می‌گیرد تا هزینه خرید کالا را پرداخت کند. درصورتی‌که پس از اتمام این مهلت، خریدار اقدام به تسویه‌حساب نکند، به ازای هر واحد کالای پرداخت نشده، درصدی جریمه به او تعلق می‌گیرد. خریدار تنها از درآمد حاصل از فروش کالا، بدهی خود را پرداخت می‌کند. در حقیقت از زمان دریافت کالا اقدام به فروش آن می‌کند و طی مدت مجاز تأخیر در پرداخت، از پس‌انداز درآمد حاصل از فروش در یک حساب سود ده، سود کسب می‌کند. در پایان اتمام مهلت مجاز در تأخیر، خریدار به اندازه فروش کسب‌کرده، قسمتی از هزینه خرید را پرداخت می‌نماید و به ازای مابقی آن جریمه می‌پردازد. این سیاست از این جهت برای خریدار جذابیت دارد که می‌تواند طی مهلت پرداخت، از درآمد حاصل از فروش کالا سود کسب کرده و از طرفی تأمین‌کننده نیز مجبور به کاهش قیمت فروش برای جذب سهم بیشتر از بازار نیست.

۲-۱- فرضیات مدل

۱- کمبود موجودی برای خریدار و تأمین‌کننده مجاز نیست.

۲- مازاد موجودی قابل قبول نمی‌باشد و قابل انتقال از دوره قبل به دوره بعد نیست.

۳- برای راحتی در محاسبات، زمان تحویل در نظر گرفته نمی‌شود.

۴- سفارشات به‌صورت ترتیبی دریافت می‌شوند. بدین معنی که همواره بعد از دریافت سفارش و مصرف کامل آن سفارش بعدی دریافت می‌شود.

۵- تمام متغیرها و عوامل مسئله قطعی می‌باشند.

۶- تقاضای سالانه مشتری شناخته شده و تغییرات آن منظم و معلوم است، بنابراین ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۷- در طول مدت مجاز تأخیر در پرداخت، خریدار درآمد حاصل از فروش را در یک حساب سپرده سود ده پس‌انداز می‌کند. بعد از این زمان به ازای موجودی باقی‌مانده در انبار جریمه می‌پردازد.

به غیر از فرض جدید شماره ۷، سایر مفروضات مسئله مشابه فرضیات درنظر گرفته شده در مقاله خلجانی و همکاران می‌باشد[۷].

۲-۲- پارامترهای مسئله

i : شاخص مربوط به تأمین‌کنندگان. $i = 1...m$

m : تعداد تأمین‌کنندگان.

r : نرخ هزینه نگهداری کالا.

D : نرخ تقاضای سالیانه خریدار.

A_i : هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده iام.

S_i : هزینه ثابت راه‌اندازی تولید تأمین‌کننده iام.

P_i : نرخ تولید سالیانه تأمین‌کننده iام.

Z_i : هزینه متغیر تولید هر واحد محصول تأمین‌کننده iام.

C_i : قیمت خرید هر واحد محصول از تأمین‌کننده iام.

V: قیمت فروش هر واحد محصول توسط خریدار.

M_i : مدت مجاز تأخیر در پرداخت پیشنهادشده توسط تأمین‌کننده iام.

I_{C_i} : بهره‌ای که خریدار در صورت تجاوز از مدت زمان مجاز تأخیر باید به ازای هر واحد کالای موجود در انبار به تأمین‌کننده iام بپردازد.

I_d : سودی که خریدار در طول مدت مجاز تأخیر به ازای هر واحد کالایی که فروخته است می‌تواند کسب کند.

ε : عددی بسیار کوچک.

R : عددی بسیار بزرگ.

۲-۳- متغیرهای مسئله

X_i : کسری از تقاضا که به تأمین‌کننده iام تخصیص داده می‌شود.

Y_i: متغیر باینری است و درصورتی‌که تأمین‌کننده iام برای تأمین محصول انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود.

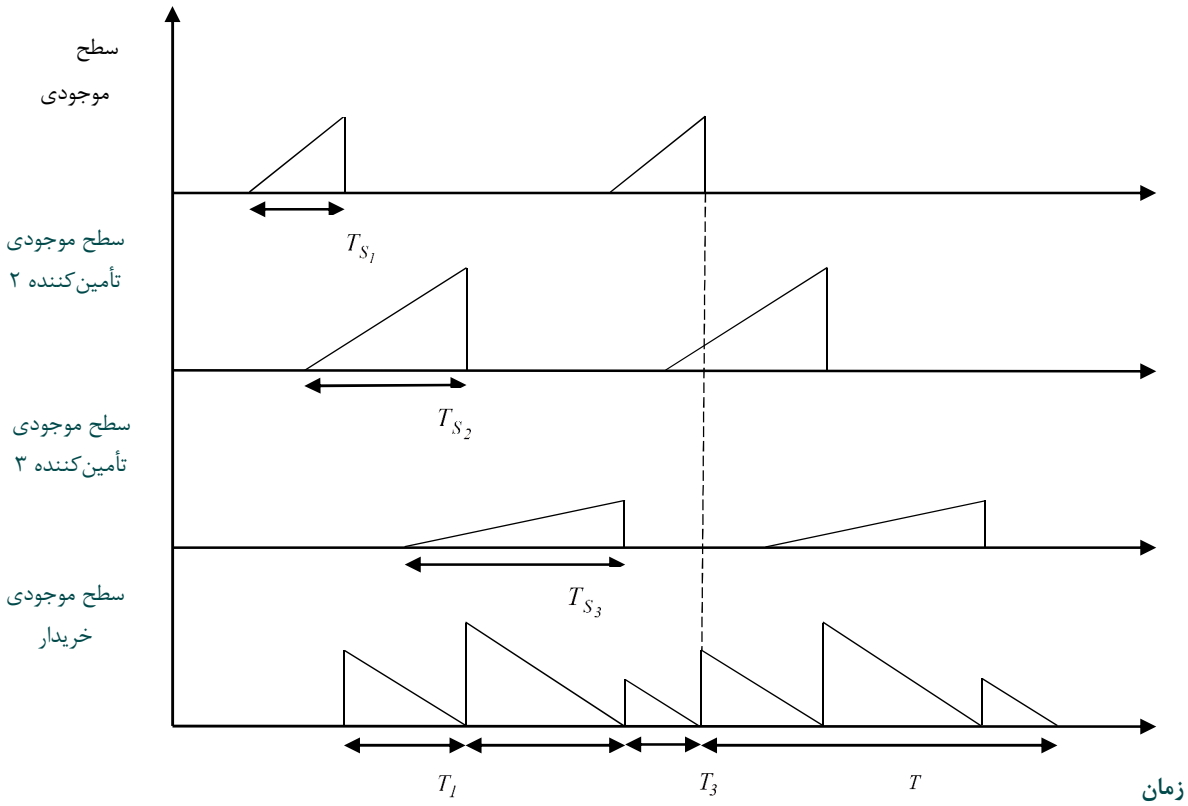
T: دوره سفارش‌دهی خریدار.

T_i: دوره‌سفارش‌دهی خریدار از تأمین‌کننده iام. $T_i = TX_i$

T_{S_i}: دوره تولید تأمین‌کننده iام.

Q_i: مقدار سفارش از تأمین‌کننده iام در هر دوره سفارش‌دهی.

Q: مقدار سفارش در هر دوره سفارش‌دهی. $Q = \sum_{i=1}^{m} Q_i$



شکل (۱): نمودار سطح موجودی خریدار و تأمین‌کنندگان

E_i: متغیر باینری است و درصورتی‌که مدت زمان مجاز تأخیر پیشنهادی از تأمین‌کننده iام کوچک‌تر از دوره سفارش‌دهی خریدار از تأمین‌کننده iام باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود.

در این مدل خریدار تمایل دارد محصولی را از چند تأمین‌کننده بالقوه خریداری نماید. هر یک از خریداران دارای نرخ تولید محدود می‌باشند. بنابراین خریدار محصول خود را از چند تأمین‌کننده تهیه می‌نماید. سفارشات به‌صورت ترتیبی وارد انبار خریدار می‌گردند، یعنی ابتدا خریدار محصول دریافت شده از تأمین‌کننده اول را مصرف نموده و پس از اتمام کامل آن سفارش تأمین‌کننده دوم وارد انبار می‌شود. جریانات نقدی سالیانه کل زنجیره تأمین شامل درآمد سالیانه و هزینه‌های سالیانه می‌باشد. در ادامه به تشریح هر یک پرداخته می‌شود.

۲-۴- درآمد سالیانه خریدار BAR[1]

تقاضای سالیانه مشتری نهایی برابر D عدد محصول است، بنابراین درآمد سالیانه خریدار از فروش این مقدار کالای تأمین شده به ازای قیمت فروش هر عدد V واحد پولی برابر است با:

$$BAR = D.V \qquad (۱-۲)$$

۲-۵- هزینه ثابت سفارش‌دهی سالیانه خریدار BAOC[2]

با در نظر گرفتن هزینه ثابت سفارش‌دهی A_i برای سفارش کالا که از تأمین‌کننده iام تهیه می‌شود، هزینه سفارش‌دهی سالیانه خریدار به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد. این هزینه ثابت زمانی محاسبه می‌شود که تأمین‌کننده iام برای تأمین کالا انتخاب گردد به عبارتی $Y_i = 1$ باشد.

$$BAOC = \sum_{i=1}^{m} \frac{Y_i A_i}{T} \qquad (۲-۲)$$

1- Buyer Annual Revenue
2- Buyer Annual Ordering Cost

۲-۶- هزینه سالیانه خرید BAPC[1]

خریدار میزان X_i درصد از کل تقاضای سالانه را از تأمین‌کننده i ام تأمین می‌کند. هزینه خرید هر واحد کالا از تأمین‌کننده i ام برابر C_i واحد پولی خواهد بود. بنابراین هزینه سالیانه خرید از تأمین‌کننده i ام برابر $C_i DX_i$ خواهد بود. هزینه سالیانه خرید از کل تأمین‌کنندگان برابر است با:

$$BAPC = D\sum_{i=1}^{m} C_i X_i \qquad (۳-۲)$$

۲-۷- هزینه سالیانه نگهداری کالای خریدار BAIHC[2]

در این تحقیق هزینه نگهداری موجودی فقط هزینه سرمایه راکد در نظر گرفته می‌شود. این هزینه به‌صورت درصدی از سرمایه بیان می‌شود. یک روش معمول مدل‌سازی هزینه‌های موجودی این است که آن را متناسب با متوسط موجودی فرض نمود. بنابراین متوسط هزینه نگهداری در واحد زمان در فاصله زمانی T_i برابر است با $rC_i\bar{I}$ و هزینه سالیانه نگهداری کالای کل از رابطه (۲-۶) محاسبه می‌گردد:

$$\bar{I} = \frac{Q_i T_i}{2}\frac{1}{T} \qquad (۴-۲)$$

$$Q_i = QX_i \ , \ T_i = TX_i \qquad (۵-۲)$$

بنابراین از (۲-۴) و (۲-۵) خواهیم داشت:

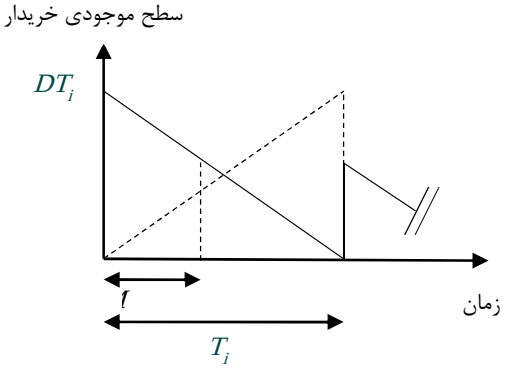
$$BAIHC = r\frac{DT}{2}\sum_{i=1}^{m} X_i^2 C_i \qquad (۶-۲)$$

۲-۸- هزینه سالیانه جریمه دیرکرد پرداخت خریدار BADPC[3] و سود سالیانه کسب‌شده توسط خریدار BAIE[4]

۲-۸-۱- حالت اول $T_i \geq M_i$

همان‌طورکه توضیح داده شد، با توجه به شکل (۲) در هر دوره به دلیل ثابت بودن نرخ تقاضا، خریدار از ابتدای دوره سفارش‌دهی از تأمین‌کننده i ام تا مدت مجاز در تأخیر M_i، مقدار DM_i واحد کالا را به فروش می‌رساند و درآمد حاصل از این فروش را در جای دیگری با نرخ سود I_d سرمایه‌گذاری می‌نماید. بنابراین سود سالیانه کسب شده توسط خریدار طی مدت مجاز در تأخیر برابر است با:

$$BAIE = \sum_{i=1}^{m} V\frac{DM_i^{\,2}}{2T} I_d \qquad (۷-۲)$$

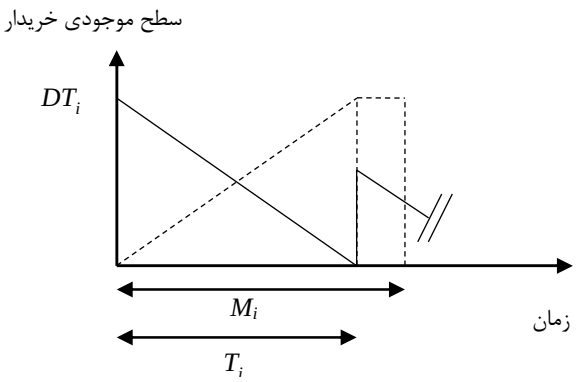


شکل (۲): نمودار سطح موجودی حالت اول $T_i \geq M_i$

پس از پایان مهلت پرداخت، تأمین‌کننده به ازای مابقی بدهی پرداخت نشده (محصول باقیمانده در انبار خریدار)، I_{C_i} درصد جریمه به خریدار تعلق می‌دهد. بنابراین هزینه سالیانه جریمه دیرکرد پرداخت خریدار از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$BADPC = \sum_{i=1}^{m} \frac{C_i D(T_i - M_i)^2 I_{C_i}}{2T} \qquad (۸-۲)$$

۲-۸-۲- حالت دوم $T_i < M_i$



شکل (۳): نمودار سطح موجودی حالت دوم $T_i < M_i$

همان‌گونه‌که در شکل (۳) نشان داده شده است، در این حالت خریدار تا پایان مدت مجاز در تأخیر تمام محصول تأمین شده را به مشتری فروخته و از درآمد حاصل از آن کل هزینه خرید خود را پرداخت می‌نماید. بنابراین در این حالت جریمه دیرکرد وجود نداشته و خریدار پس از اتمام کامل موجودی و در پایان مدت مجاز در تأخیر، هزینه خرید را به تأمین‌کننده پرداخت می‌نماید. همچنین در این حالت

1- Buyer Annual Purchasing Cost
2- Buyer Annual Inventory Holding Cost
3- Buyer Annual Delay in Payment Cost
4- Buyer Annual Interest Earned

خریدار درآمد کسب شده را در سپرده سود ده پس‌انداز می‌کند. بنابراین سود حاصل از پس‌انداز درآمد طی مدت مجاز تأخیر در هر دوره سفارش‌دهی از تأمین‌کننده i ام از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$T_i = TX_i$$

بنابراین داریم:

$$BAIE = \sum_{i=1}^{m} DX_i VI_d \left(M_i - \frac{TX_i}{2} \right) \qquad (۹-۲)$$

۲-۸- هزینه ثابت راه‌اندازی تولید سالیانه تأمین‌کنندگان SASC[1]

این نوع هزینه اغلب ثابت بوده و به مقدار سفارش بستگی ندارد، با در نظر گرفتن هزینه ثابت راه‌اندازی تولید S_i تأمین‌کننده iام، هزینه آماده‌سازی تولید سالیانه تأمین‌کنندگان به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد. این هزینه ثابت زمانی محاسبه می‌شود که تأمین‌کننده iام برای تأمین کالا انتخاب گردد به عبارتی $Y_i = 1$ باشد.

$$SASC = \sum_{i=1}^{m} \frac{S_i Y_i}{T} \qquad (۱۰-۲)$$

۲-۹- هزینه سالیانه نگهداری موجودی تأمین‌کنندگان SAIHC[2]

با توجه به شکل (۱)، میانگین موجودی تأمین‌کننده i ام در T_{S_i} برابر است با $\frac{Q_i}{2}$. در نتیجه متوسط هزینه نگهداری موجودی تأمین‌کننده i ام در مدت T_{S_i} برابر است با $\frac{Q_i T_{S_i}}{2} r Z_i$. به دلیل اینکه تعداد دوره‌های سفارش‌دهی خریدار در سال برابر است با $\frac{1}{T}$ و با در نظر گرفتن $Q_i = X_i DT$ و $T_{S_i} = \frac{Q_i}{P_i}$ بنابراین هزینه سالیانه نگهداری موجودی تأمین‌کنندگان از رابطه (۲-۱۱) به دست می‌آید:

$$SAIHC = r D^2 \frac{T}{2} \sum_{i=1}^{m} \frac{X_i^2}{P_i} Z_i \qquad (۱۱-۲)$$

۲-۱۰- هزینه متغیر تولید SAPC[3]

خریدار میزان X_i درصد از کل تقاضای سالانه را از تأمین‌کننده iام تأمین می‌کند. هزینه تولید هر واحد کالای تأمین‌کننده iام برابر Z_i واحد پولی خواهد بود. بنابراین هزینه سالیانه تولید تأمین‌کننده iام برابر $Z_i DX_i$ خواهد بود. هزینه سالیانه تولید کل تأمین‌کنندگان برابر است با:

$$SAPC = D \sum_{i=1}^{m} Z_i X_i \qquad (۱۲-۲)$$

۲-۱۱- مدل ماکزیمم‌سازی سود سالانه زنجیره تأمین

براساس تعاریف انجام شده، مدل یکپارچه مسئله انتخاب تأمین‌کننده با هدف ماکزیمم کردن سود کل زنجیره تأمین به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$Max(F) = DV - \left(\sum_{i=1}^{m} DX_i (C_i + Z_i) + \sum_{i=1}^{m} \frac{Y_i (A_i + S_i)}{T} + r \frac{DT}{2} \sum_{i=1}^{m} X_i^2 \left(C_i + D \frac{Z_i}{P_i} \right) + \sum_{i=1}^{m} Y_i E_i \left(\frac{DC_i (TX_i - M_i)^2 I_{C_i}}{2T} - \frac{DVM_i^2 I_d}{2T} \right) - \sum_{i=1}^{m} Y_i (1 - E_i) DX_i VI_d \left(M_i - \frac{TX_i}{2} \right) \right) \qquad (۱۳-۲)$$

S.t:

$$TX_i \geq M_i - (1 - E_i) R \qquad \forall i = 1, 2, \ldots, m \qquad (۱۴-۲)$$

1- Supplier's Annual Setup Cost
2- Supplier Annual Inventory Holding Cost
3- Supplier Annual Production Cost

$$TX_i \le M_i + E_i R \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۱۵-۲)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_i = 1 \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۱۶-۲)$$

$$X_i \le \frac{P_i}{D} Y_i \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۱۷-۲)$$

$$X_i \ge \varepsilon Y_i \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۱۸-۲)$$

$$Y_i = \{0,1\} \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۱۹-۲)$$

$$E_i = \{0,1\} \qquad \forall i = 1,2,...,m \qquad (۲۰-۲)$$

تابع هدف (۲-۱۳) به‌منظور بیشینه‌سازی سود کل زنجیره تأمین ایجاد شده است. سود کلی به‌صورت اختلاف بین درآمدها (اولین جمله تابع هدف) و هزینه‌ها در زنجیره تأمین به دست آمده است. محدودیت (۲-۱۴) بیان می‌کند در صورتی که مدت زمان مجاز تأخیر پیشنهادی از تأمین‌کننده i ام کوچک‌تر از دوره سفارش‌دهی خریدار از تأمین‌کننده i ام باشد، E_i برابر یک خواهد بود. بنابراین عبارت $\sum_{i=1}^{m} Y_i (1-E_i) DX_i VI_d \left(M_i - \frac{TX_i}{2} \right)$ از تابع هدف حذف می‌گردد. محدودیت (۲-۱۵) نشان می‌دهد در صورتی‌که مدت زمان مجاز تأخیر پیشنهادی از تأمین‌کننده i ام بزرگ‌تر از دوره سفارش‌دهی خریدار از تأمین‌کننده i ام باشد، E_i برابر صفر خواهد بود. بنابراین عبارت $\sum_{i=1}^{m} Y_i E_i \left(\frac{DC_i (TX_i - M_i)^2 I_{C_i}}{2T} - \frac{DVM_i^2 I_d}{2T} \right)$ در تابع هدف مقدار صفر خواهد گرفت و حذف می‌گردد. محدودیت (۲-۱۶) اطمینان می‌دهد مجموعه سفارشات از تأمین‌کنندگان برابر با مقدار تقاضا خواهد بود. محدودیت (۲-۱۷) نشان می‌دهد که کسری از تقاضا که به تأمین‌کننده i ام سفارش داده می‌شود از ظرفیت تولید تأمین‌کننده i ام بیشتر نباشد. محدودیت (۲-۱۸) بیان می‌کند که در صورت انتخاب تأمین‌کننده i ام، باید کسری از تقاضا که به او تخصیص داده می‌شود حداقل برابر ε باشد. در نهایت محدودیت (۲-۱۹) و (۲-۲۰) باینری بودن متغیرهای Y_i و E_i را نشان می‌دهند.

۳- روش حل پیشنهادی

استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل اندازه‌گیری اقتصادی[1] تاریخچه‌ای به وسعت خود الگوریتم ژنتیک دارد. در سال ۲۰۱۰، گورن[2] و همکاران در تحقیقی نشان دادند اکثر مسائل مربوط به اندازه‌گیری اقتصادی از نوع بهینه‌سازی ترکیبیاتی و دارای پیچیدگی برای حل می‌باشند[۲۳]. برای رویارویی با این‌گونه مسائل شمار زیادی از محققان به استفاده از الگوریتم‌های تقریبی به ویژه الگوریتم ژنتیک روی آوردند، تا در زمان‌های محاسباتی معقول به جواب‌هایی نزدیک به بهینه دست یابند (برای جزئیات بیشتر توصیه می‌شود منبع [۲۳]مطالعه گردد). مدل ارائه شده، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته است و روش‌های حل دقیق نمی‌توانند به‌طور مؤثر عمل کنند. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل در اندازه‌های مختلف استفاده می‌گردد. الگوریتم‌های ژنتیک یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت‌گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می‌گردد. اصول کار الگوریتم ژنتیک به صورت روند زیر ارائه می‌گردد.

گام ۱- تکنیک نمایش جواب (کروموزوم‌ها): کدگذاری جواب‌ها در قالب یک رشته (بردار/ماتریس) به‌عنوان کروموزوم شناخته می‌شود. مجموعه‌ای از این کروموزوم‌ها در هر نسل الگوریتم را یک جمعیت می‌نامند. در این مسئله از روش

1- Lot Sizing Problem
2- Goren

رمزگذاری اعداد حقیقی[1] برای نمایش جواب متغیر پیوسته و از رمزگذاری باینری[2] برای نمایش جواب متغیرهای باینری استفاده می‌گردد.

گام ۲- انتخاب تصادفی جمعیت اولیه از مجموعه پاسخ‌ها: با توجه به شکل (۴)، برای متغیرهای Y_i کروموزوم به صورت رشته‌های باینری تصادفی تولید می‌شوند. برای متغیرهای X_i نیز کروموزوم به صورت یک رشته پیوسته اعداد حقیقی بین ۰ و ۱ تولید می‌گردند. سپس با ضرب کردن این دو کروموزوم در هم و نرمالیزه کردن آن (باید مجموع ژن‌های هر کروموزوم برابر ۱ باشد)، یک رشته جواب m تایی برای متغیرهای X_i ایجاد می‌گردد. در هر نسل به مقدار nPop کروموزوم تولید می‌گردد که اندازه جمعیت خواهد بود.

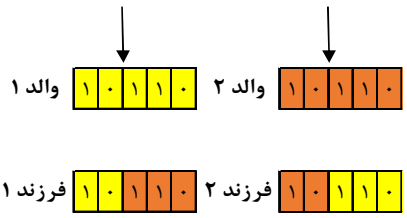
Y_i	۰	۱	۱	۰	۱
X_i	۰.۷	۰.۱۱	۰.۴۶	۰.۳۴	۰.۲
$X_i . Y_i$	۰	۰.۱۱	۰.۴۶	۰	۰.۲
X_i نرمالیزه شده	۰	۰.۱۴۲۸۵۷	۰.۵۹۷۴۰۳	۰	۰.۲۵۹۷۴

شکل (۴): کروموزوم‌های سطح Y_i و X_i

گام ۳- محاسبه میزان سازگاری گروه پاسخ با تابع برازندگی: میزان سازگاری کروموزوم‌ها با محیط توسط تابع برازندگی ارزیابی می‌شود. در این مسئله تابع برازندگی همان تابع هدف حداکثرسازی است. این تابع هر رشته را با یک عدد ارزیابی می‌کند تا کیفیت آن را مشخص نماید. هر چه کیفیت رشته بالاتر باشد احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت. همچنین برای اجتناب از ایجاد جواب‌های غیرموجه، تابع جریمه از تابع هدف کسر می‌شود. یعنی برای محدودیت‌های $G(x) \le b$ تابع جریمه $PNF = max\{0, [G(x) - b]\}$ از تابع هدف کسر می‌گردد.

گام ۴- انتخاب والدین: در هر نسل به کروموزوم‌های برتر، باید شانس بیشتری برای زاد و ولد داده شود. در حقیقت مکانیزم انتخاب باعث سوق دادن جستجو به بخش‌هایی از فضا که امکان یافتن جواب با کیفیت بالا وجود دارد می‌گردد. در الگوریتم ارائه شده از روش چرخ رولت برای انتخاب استفاده شده است که در آن احتمال انتخاب هر کروموزوم براساس برازندگی آن محاسبه می‌گردد.

گام ۵- ایجاد جمعیت جدید با استفاده از عملگرهای ژنتیک (تکثیر ترکیب و جهش): این فرآیند باعث به وجود آمدن نسل جدیدی از کروموزوم‌هایی می‌شود که با نسل قبلی متفاوت است. کل فرآیند برای نسل بعدی هم تکرار می‌شود، جفت‌ها برای ترکیب انتخاب شده و جمعیت نسل سوم به وجود می‌آیند. این فرآیند تکرار می‌شود تا اینکه به آخرین مرحله برسد. عملگر جهش نیز ژن‌های مشخصی از کروموزوم را به‌صورت تصادفی تغییر می‌دهد تا از گیر افتادن در نقطه بهینه محلی اجتناب شود و نقاط دیگری از فضای جواب کشف و روند تکامل بهبود یابد. در این الگوریتم عملگر تقاطع پیوسته[3] و عملگر جهش جانشینی[4] روی کروموزوم‌های پیوسته و عملگر تقاطع تک‌نقطه‌ای[5] و عملگر جهش وارونگی[6] روی کروموزوم‌های باینری اعمال شده‌اند. نحوه عملکرد هر یک در شکل‌های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) نشان داده شده است.



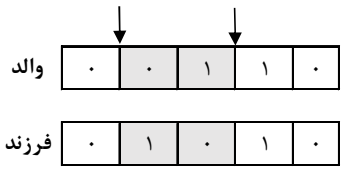
شکل (۵): تقاطع تک نقطه‌ای

Beta	۰.۱	۰.۵۴	۰.۵۶	۰.۰۴	۰.۲۳
والد ۱	۰.۱	۰.۵۴	۰.۵۶	۰.۰۴	۰.۲۳
والد ۲	۰.۲	۰.۲۳	۰.۶۵	۰.۵۴	۰.۳۳

فرزند ۱	۰.۱۵	۰.۴	۰.۶	۰.۵۲	۰.۳۱
فرزند ۲	۰.۱۱	۰.۳۷	۰.۶۱	۰.۰۶	۰.۲۵

$$Offspring\,1 = Beta \times Parent\,1 + (1 - Beta) \times Parent\,2$$
$$Offspring\,2 = Beta \times Parent\,2 + (1 - Beta) \times Parent\,1$$

شکل (۶): تقاطع پیوسته



شکل (۷): جهش وارونگی

1- Real Encoding
2- Binary Encoding

3- Continuous Uniform Crossover
4- Swap Mutation
5- Single Point Crossover
6- Inversion Mutation

والد	۰.۲۵	۰.۳۲	۰.۵۶	۰.۱۱	۰.۳
فرزند	۰.۲۵	۰.۱۱	۰.۵۶	۰.۳۲	۰.۳

شکل (۸): جهش جانشینی

گام ۶ – تکرار مراحل چهارم و پنجم تا هنگامی که جواب نهایی همگرا گردد. (معیار توقف): معیار توقف در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی سپری شدن تعداد معینی از تکرار بدون مشاهده بهبود در بهترین جواب تعریف شده است.

۴- مثال عددی

در این بخش به طراحی مثال‌های عددی جهت حل با روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. هر یک از مسائل به‌صورت تصادفی در بازه‌های از پیش تعریف شده برای پارامترهای آن مسئله توسط نرم‌افزار MATLAB 2010 تولید می‌گردند. در مجموع ۱۰ عدد مثال عددی تولید می‌شود. بازه‌های تعریف شده برای پارامترهای مسائل عددی به‌صورت زیر است:

بسیاری از محققان پارامترها و عملگرهای یک الگوریتم را براساس مقادیری که در مطالعات پیشین وجود داشته تنظیم می‌کنند. اما کارایی الگوریتم‌ها با طراحی مناسب پارامترها و عملگرها بهبود می‌یابد. در تحقیق پیش‌رو به منظور پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، روش‌شناسی‌سطح پاسخ[1] جهت تنظیم پارامترهای ورودی الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌شناسی سطح پاسخ ترکیبی از تکنیک‌های ریاضی و آمار است که برای مدل‌بندی و تحلیل مسائلی که پاسخ موردنظر تحت تأثیر چندین متغیر قرار می‌گیرد، مفید است و هدف آن بهینه‌سازی این پاسخ می‌باشد. در اکثر مسائل مربوط به روش‌شناسی سطح پاسخ، صورت بستگی بین پاسخ ومتغیرهای‌مستقل‌نامعلوم‌است.پس‌اولین‌قدم‌در‌روش‌شناسی سطح پاسخ، یافتن تقریبی مناسب برای رابطه واقعی بین پاسخ و مجموع متغیرهای مستقل است. اگر پاسخ به‌خوبی به وسیله یک تابع خطی از متغیرهای مستقل مدل‌سازی شده باشد، آنگاه تابع تقریب‌کننده مدل مرتبه اول[2] $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon$ است. درصورتی‌که در سیستم خمیدگی وجود داشته باشد، آنگاه باید از چند جمله‌ای‌های مرتبه بالاتر مانند مدل مرتبه دوم[3] $y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$ استفاده کرد.

در روابط فوق پارامترهای β نامعلوم هستند و برای برآورد پارامترهای مدل و تخمین تابع هدف می‌توان از روش کمترین مجموع مربعات خطاها استفاده کرد. پارامترهای تخمینی الگوریتم ژنتیک عبارتند از تعداد اعضای جمعیت (nPop)، نرخ عملگر تقاطع (P_C) و نرخ عملگر جهش (P_M). هر کدام از این فاکتورها دارای سه سطح پایین، متوسط و بالا می‌باشند که در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): سطوح و پارامترهای الگوریتم ژنتیک

سطوح	پارامترها		
	nPop	P_C	P_M
پایین	۱۰۰	۰/۵	۰/۱
متوسط	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵
بالا	۲۰۰	۰/۷	۰/۲

D:[10000 11000] V:[250 270] I_d:[0.15 0.2]
A_i:[1000 1200] S_i:[9400 9800] P_i:[3400 4300]
r:[0.1 0.15] C_i:[150 200] Z_i:[80 99]
M_i:[0.08 0.15] I_{C_i}:[0.2 0.27]

گام مهم بعد از انتخاب طرحی است که براساس آن باید آزمایش انجام داد. در آزمایش‌های مشتمل بر چندین عامل که هر عامل دارای سه سطح باشد از طرح‌های عاملی 3^K استفاده می‌گردد. اما با توجه به آنکه با افزایش تعداد فاکتورها تعداد آزمایش‌ها بالا می‌رود و از لحاظ زمانی این طرح ممکن است توجیه نداشته باشد، می‌توان از طرح‌های عاملی کسری مانند طرح مرکب مرکزی[4] برای طراحی آزمایش استفاده نمود. تعداد آزمایش‌های مورد نیاز این طرح برابر $2^K + 2K + m$ می‌باشد. 2^K تعداد نقاط عاملی، $2K$ تعداد نقاط محوری و m تعداد نقاط مرکزی می‌باشند. بنابراین تعداد هشت نقطه عاملی، شش نقطه محوری و شش نقطه مرکزی وجود خواهد داشت و در مجموع تعداد ۲۰ آزمایش طراحی می‌شود (جدول ۲).

1- Response Surface Methodology
2- First Order Model
3- Second Order Model
4- Central Composite Design

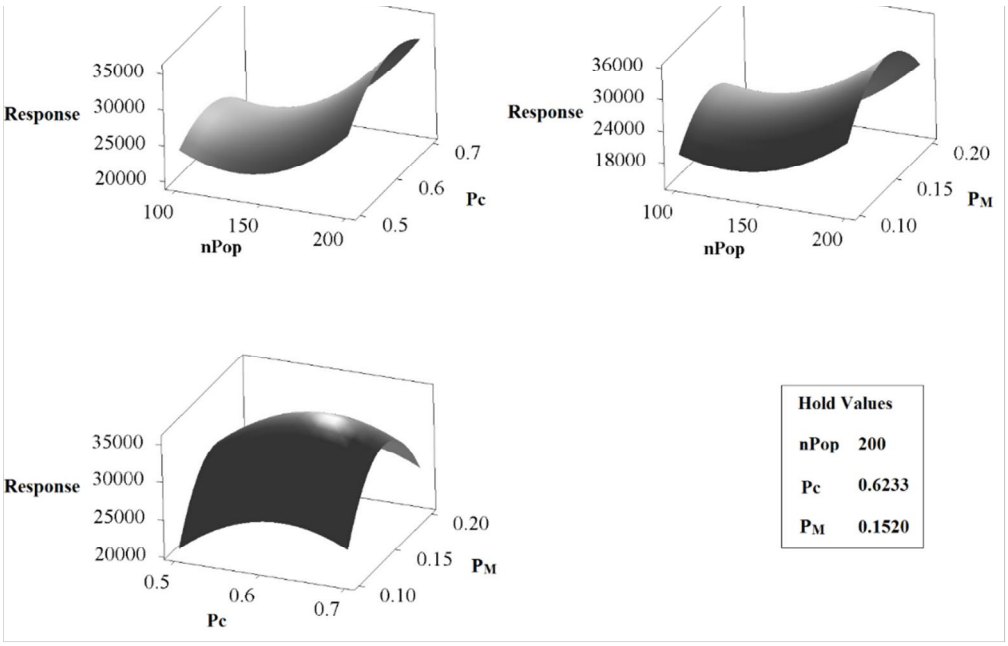
$$y = -107316 - 744.537 \times nPop + 389393 \times P_C + 894976 \times P_M + 369.14 \times nPop \times P_C + 589.887 \times nPop \times P_M + 4561.01 \times P_C \times P_M + 1.75851 \times nPop \times nPop - 372148 \times P_C \times P_C - 3.34212e+006 \times P_M \times P_M \quad (۱-۴)$$

در گام بعد تابع رگرسیون مناسب برازش شده توسط نرم‌افزار MINITAB16 برای تشکیل یک مدل سطح پاسخ به‌کار برده شد. فرم کامل یک مدل سطح پاسخ با سه متغیر شامل سه جمله اثر خود عوامل، سه جمله اثر تداخلات، سه جمله اثر مجذور متغیرها می‌باشد و به‌صورت زیر ارائه می‌گردد:

از نرم‌افزار لینگو برای بهینه‌سازی تابع رگرسیون برازش شده در محدوده پارامترهای ورودی و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. با حل مدل مقدار بهینه nPop، P_C و P_M به ترتیب ۲۰۰، ۰/۶۲۳۲۹۲۴ و ۰/۱۵۱۹۶۸۸ به‌دست می‌آیند. در شکل (۹) رویه پاسخ کسب‌شده به‌ازای پارامترهای ورودی نمایش داده شده است.

جدول (۲): آزمایش‌های مشتمل برای GA

آزمایش	nPop	Pc	P_M	y	آزمایش	nPop	Pc	P_M	y
۱	۱۰۰	۰/۵	۰/۱	۱۸۱۷۳/۷۲	۱۱	۱۵۰	۰/۵	۰/۱۵	۲۰۸۱۲/۱
۲	۲۰۰	۰/۵	۰/۱	۲۱۳۲۵/۵	۱۲	۱۵۰	۰/۷	۰/۱۵	۲۱۱۱۳/۳
۳	۱۰۰	۰/۷	۰/۱	۳۲۶۸۷/۰۲	۱۳	۱۵۰	۰/۶	۰/۱	۱۷۷۷۴/۹۲
۴	۲۰۰	۰/۷	۰/۱	۲۶۰۰۵/۷۷	۱۴	۱۵۰	۰/۶	۰/۲	۱۴۸۸۲/۸۴
۵	۱۰۰	۰/۵	۰/۲	۱۲۴۵۴/۴۵	۱۵	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۴۲۴۲/۶۶
۶	۲۰۰	۰/۵	۰/۲	۲۴۲۸۹/۲۸	۱۶	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۰۲۵۰/۵۲
۷	۱۰۰	۰/۷	۰/۲	۹۸۴۳/۱۴۵	۱۷	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۴۶۱۸/۰۲
۸	۲۰۰	۰/۷	۰/۲	۲۶۲۷۶/۶	۱۸	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۱۰۸۹۸/۰۹
۹	۱۰۰	۰/۶	۰/۱۵	۱۸۲۰۳/۹۲	۱۹	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۳۰۹۴/۳۴
۱۰	۲۰۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۰۹۵۷/۰۲	۲۰	۱۵۰	۰/۶	۰/۱۵	۲۹۲۳۸/۵۶



شکل (۹): نمودار رویه پاسخ GA

جدول (۳): مقایسه نتایج به‌دست آمده از حل مدل با لینگو و الگوریتم ژنتیک

شماره مسئله		الگوریتم ژنتیک			لینگو		شماره مسئله		الگوریتم ژنتیک			لینگو	
		اجرا	تابع هدف	زمان حل(ثانیه)	تابع هدف	زمان حل(ثانیه)			اجرا	تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	زمان حل
۱	m=۴	۱	۲۷۲۳۴	۸/۰۵۲	۲۷۲۸۳	۴۴/۰۰	۶	m=۹	۱	۲۵۹۰۱	۸/۰۸۴	-	-
		۲	۲۷۲۵۷	۸/۰۰۸	۲۷۲۸۳	۴۴/۰۰			۲	۲۶۲۵۸	۸/۱۱۳	-	-
		۳	۲۷۲۴۸	۷/۹۶۶	۲۷۲۸۳	۴۴/۰۰			۳	۲۳۷۴۸	۸/۱۸۵	-	-
۲	m=۵	۱	۱۴۰۱۸۹	۷/۹۸۰	۱۴۸۱۷۰	۳۷/۰۰	۷	m=۱۰	۱	۳۶۴۶۵	۸/۱۳۳	-	-
		۲	۱۴۱۸۹۱	۸/۰۱۵	۱۴۸۱۷۰	۳۷/۰۰			۲	۳۷۰۳۲	۸/۱۱۳	-	-
		۳	۱۴۱۴۰۷	۸/۰۲۲	۱۴۸۱۷۰	۳۷/۰۰			۳	۳۷۰۵۸	۸/۱۲۹	-	-
۳	m=۶	۱	۲۵۲۴۲	۸/۰۱۶	۲۷۲۱۹	۵۱۴/۰۰	۸	m=۱۱	۱	۴۸۰۱۹	۵/۱۷۰	-	-
		۲	۲۶۱۳۰	۸/۰۱۹	۲۷۲۱۹	۴۹۲/۰۰			۲	۴۷۹۷۰	۶/۵۷۰	-	-
		۳	۲۶۳۱۵	۸/۰۴۵	۲۷۲۱۹	۴۹۲/۰۰			۳	۴۸۷۶۹	۶/۷۴۰	-	-
۴	m=۷	۱	۱۲۹۳۱۱	۸/۰۶۲	۱۳۰۲۹۵	۱۴۵۰/۰۰	۹	m=۱۲	۱	۵۱۲۵۶	۸/۱۳۹	-	-
		۲	۱۲۹۴۶۰	۸/۰۱۸	۱۳۰۲۹۵	۱۴۵۰/۰۰			۲	۴۹۲۱۹	۸/۱۶۶	-	-
		۳	۱۲۹۴۹۹	۸/۰۲۶	۱۳۰۲۹۵	۱۴۵۰/۰۰			۳	۵۰۸۲۸	۸/۱۴۰	-	-
۵	m=۸	۱	۱۲۴۱۹۵	۸/۰۶۰	۱۲۸۳۷۰	۷۲۴۸/۰۰	۱۰	m=۱۳	۱	۸۶۰۴۷	۸/۲۰۲	-	-
		۲	۱۲۳۵۲۸	۸/۲۴۰	۱۲۸۳۷۰	۷۲۴۸/۰۰			۲	۸۹۴۸۹	۸/۲۰۸	-	-
		۳	۱۲۱۷۰۳	۸/۲۶۶	۱۲۸۳۷۰	۷۲۴۸/۰۰			۳	۸۹۵۳۸	۸/۲۲۷	-	-

جدول (۳) نتایج حاصله از حل مدل را نشان می‌دهد. از نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌گردد که با افزایش سایز مسئله، لینگو کارایی خود را از دست می‌دهد. لینگو از مسئله شماره ۶ به بعد، با گذشت زمانی بیش از دو ساعت قادر به یافتن جواب بهینه نیست، بنابراین ناکارامدی آن با افزایش ابعاد مسئله نمایان می‌گردد. الگوریتم ژنتیک در ابعاد گوناگون مسائل، جواب‌هایی قابل قبول و نزدیک به جواب‌های حاصل از لینگو می‌یابد. بنابراین در مسائل با مقیاس بزرگ نیز می‌توان به جواب‌های حاصل از آن استناد کرد. زمان محاسباتی بسیار کمتر و تقریب مناسب جواب الگوریتم ژنتیک و کارایی آن در حل مسائل با ابعاد بزرگ، کارایی این الگوریتم را در حل مدل مذکور نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی

در این تحقیق، یک مدل یکپارچه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده شامل یک خریدار و چندین تأمین‌کننده با هدف مدل حداکثر کردن سود کل زنجیره تأمین ارائه گردید که در آن هر یک از تأمین‌کنندگان برای رقابت با یکدیگر، یک مدت معین و مجاز تأخیر در پرداخت برای خریدار در نظر می‌گیرند. مدل‌های هماهنگی زنجیره تأمین به عنوان راهبرد برنده - برنده برای شرکای زنجیره تامین ارائه شده اند که با تعمیم این راهبرد به یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تغییر نگارشی صورت خواهد گرفت که در آن خریداران به جای اینکه تنها به افزایش سود خود توجه داشته باشند، منافع تأمین‌کنندگان را نیز مد نظر قرار می‌دهند. بنابر این از لحاظ مدیریتی دو مسئله مهم در این تحقیق مورد تصمیم‌گیری قرار گرفت؛ اول اینکه از میان مجموع تأمین‌کنندگان بالقوه و موجود کدام یک از آنان جهت تأمین کالای مورد نیاز انتخاب شوند، دوم سهم هر یک از تأمین‌کنندگان منتخب از تقاضا به چه میزان باشد تا سود کل زنجیره‌تأمین ماکسیمم گردد.

مدل ارائه شده، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته است و برای حل این مدل از دو روش حل دقیق مدل با استفاده از Global Solver نرم‌افزار لینگو نسخه ۸ و حل مدل توسط الگوریتم ژنتیک کدنویسی شده با نرم‌افزار MATLAB 2010a استفاده گردید. در نهایت مقایسه نتایج جواب‌های این دو روش نشان داد که اگر چه نرم‌افزار لینگو در مسائل با ابعاد کوچک عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد اما با بزرگ شدن ابعاد مسئله قادر به یافتن جواب بهینه در زمان کوتاه و منطقی نبوده و الگوریتم ژنتیک به‌راحتی در کوتاه مدت جواب نزدیک به بهینه پیدا کرده و عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در انجام

مطالعات مربوط به این مقاله، فرض‌هایی ساده‌ساز در نظر گرفته شده که باعث گردیده زوایایی از مسئله پوشش داده نشود که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد مطالعه قرار گیرد. به عنوان مثال می‌توان به توسعه شرایط غیرقطعی بر عواملی مانند تقاضای سالانه و ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان تمرکز نمود. همچنین می‌توان مدل را در حالت کمبود مجاز، در نظر گرفتن زمان تحویل، ارائه سیاست‌های تخفیف از سوی تأمین‌کنندگان، اضافه نمودن اهداف دیگر مانند کیفیت و تحویل به موقع مطالعه نمود. ارائه روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری برای بهبود جواب نیز می‌تواند در حوزه مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

[1] S. K. Goyal, ***"An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem"***, International Journal of Production Research, vol. 15, pp. 107-111, 1977.

[2] A. A. Gaballa, ***"Minimum cost allocation of tenders"***, Operational Research Quarterly, vol. 25, pp. 389-398, 1974.

[3] R. Narasimhan and K. Stoynof, ***"Optimizing aggregate procurement allocation decisions"***, Journal of Purchasing and Materials Management, vol. 22, pp. 23-30, 1986.

[4] H. Tempelmeier, ***"A simple heuristic for dynamic order sizing and supplier selection with time varying data"***, Production and Operations Management, vol. 11, pp. 499-515, 2002.

[5] N. N. Murthy, et al., ***"A framework for facilitating sourcing and allocation decisions for make-to order items"***, Decision Sciences ,vol. 35, pp. 609-637, 2004.

[6] X. Li and Q. Wang, ***"Coordination mechanisms of supply chain systems"***, European Journal of Operational Research, vol. 179, pp. 1-16, 2007.

[7] J. G. Kheljani, et al., ***"Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection"***, International journal of production economics, vol. 121, pp. 482-493, 2009.

[8] A. Awasthi, et al., ***"Supplier selection problem for a single manufacturing unit under Stochastic demand"***, International Journal of Production Economics, vol. 117, pp. 229-233, 2009.

[9] A. Hajji, et al., ***"Production control and replenishment strategy with multiple suppliers, Production"***, Manufacturing and Logistics, vol. 208, pp. 67-74, 2010.

[10] A. Kamali, et al., ***"A multi-objective quantity discount and joint optimization model for coordination of a single-buyer multi-vendor supply chain"***, Computers and Mathematics with Applications, vol. 62, pp. 3251–3269, 2011.

[11] H. I. L. Amy, et al., ***"An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts"***, Applied Mathematical Modelling, vol. 37, pp. 4733–4746, 2013.

[12] D. E. Aliabadi, et al., ***"A two-level GA to solve an integrated multi-item supplier selection model"***, Applied Mathematics and Computation, vol. 219, pp. 7615-7600 2013.

[13] S. K. Goyal, ***"Economic Order Quantity Under Conditions of Permissible Delay in Payments"***, The Journal of the Operational Research Society, vol. 36, pp. 335-338, 1985.

[14] J. T. Teng, ***"On the economic order quantity under conditions of permissible delay in payments"***, Journal of the Operational Research Society, vol. 53, pp. 915–918, 2002.

[15] S. Seong Whan, et al., ***"Joint price and lot size determination under conditions of permissible delay in payments and quantity discounts for freight cost"***, European Journal of Operational Research, vol. 91, pp. 528-542, 1996.

[16] B. R. Sarker, et al., ***"Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment"***, Computers & Operations Research, vol. 27, pp. 59-57 ,2000.

[17] H.-J. Chang and C.-Y. Dye, ***"An inventory model for deteriorating items with partial backlogging and permissible delay in payments"***, International Journal of Systems Science, vol. 32, pp. 345-352, 2001.

[18] S. W. Shinn and H. Hwang, ***"Optimal pricing and ordering policies for retailers under order-size-dependent delay in payments"***, Computers & Operations Research, vol. 30, pp. 35-50, 2003.

[19] S. S. Sana and K. S. Chaudhuri, ***"A deterministic EOQ model with delays in payments and price-discount offers"***, European Journal of Operational Research, vol. 184, pp. 509-533, 2008.

[20] C.-H. Ho, et al., ***"Optimal pricing, shipment and payment policy for an integrated supplier–buyer inventory model with two-part trade credit"***, European Journal of Operational Research, vol. 187, pp. 496-510, 2008.

[21] L.-Y. Ouyang, et al., ***"An economic order quantity model for deteriorating items with partially permissible delay in payments linked to order quantity"***, European Journal of Operational Research ,vol. 194, pp. 418-431, 2009.

[22] V. B. Kreng and S.-J. Tan, ***"The optimal replenishment decisions under two levels of trade credit policy depending on the order quantity"***, Expert Systems with Applications, vol. 37, pp. 5514-5522, 2010.

[23] H. Guner Goren, et al., ***"A review of applications of genetic algorithms in lot sizing"***, Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 21, pp. 575-590, 2010.