International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
June 2016, Volume 27, Number 1
pp. 13-23
http://IJIEPM.iust.ac.ir/

INTEGRATING VENDOR SELECTION PROBLEM AND DISTRIBUTION-INVENTORY DECISIONS IN A THREE LEVEL SUPPLY CHAIN WITH STOCHASTIC DEMAND

Faranak Emtehani & Farimah Mokhatab Rafiei*

Faranak Emtehani, MSc, *Department of Industrial engineering and center for systems planning, Isfahan University of Technology.*

Farimah Mokhatab Rafiei, *Associate professor, Department of Industrial engineering and center for systems planning, Isfahan University of Technology.*

Keywords

Vendor selection,
Three level supply chain,
Integrating,
Stochastic demand,
Mathematical model,
Genetic algorithm

ABSTRACT

We consider a vendor selection problem in a three level supply chain which includes several vendors of raw material, one manufacturer and a retailer. We assume that raw materials arrive to the manufacturer immediately after purchasing and in each time period raw materials convert to finished products at the same time period and finally deliver to the retailer. In addition to selecting right vendors, assignment of raw materials to vendors and how much to order to these selected vendors, the purpose of this model is integrating of inventory decisions in the three levels of supply chain. According to the stochastic demand of the retailer, the quantity order of products to the plant and also the quantity order of raw materials to the vendors are specified. A mathematical model is developed for this problem. We take into consideration capacity constraint for vendors and order quantity constraint for each raw material. A Genetic algorithm is developed for solving the model and finally, in order to evaluate our Genetic algorithm, the proposed model is also solved with GAMS software. Computational results show a significant decrease in the runtime of GA (about 88.1 percent) and also achieving good solutions that are very close to the GAMS solutions (average 3.51 percent).

© 2016 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 27, No. 1, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۷، بهار ۱۳۹۵

صفحـــه ۲۳-۱۴

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

یکپارچه‌سازی مسأله انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات توزیع موجودی در یک زنجیره تأمین سه سطحی با تقاضای احتمالی

فرانک امتحانی و فریماه مخاطب رفیعی*

کلمات کلیدی

انتخاب تأمین‌کننده،
زنجیره تأمین سه سطحی،
یکپارچه‌سازی،
تقاضای احتمالی،
مدل ریاضی،
الگوریتم ژنتیک

چکیده:

در این مقاله یک مسأله انتخاب تأمین‌کننده چند محصولی را در یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل چندین تأمین‌کننده مواد خام، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش مورد بررسی قرار داده‌ایم. فرض می‌شود مواد خامی که از تأمین‌کننده خریداری می‌شوند بلافاصله به دست تولیدکننده می‌رسند. این مواد خام برای تولید محصولات مختلف استفاده شده و در هر دوره زمانی مواد خام به محصولات تمام شده در همان دوره تبدیل می‌شوند و در نهایت به دست خرده‌فروش می‌رسند. هدف این مدل علاوه بر انتخاب تأمین‌کننده مناسب و تعیین مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده، یکپارچه‌سازی تصمیمات موجودی در کل زنجیره تأمین می‌باشد. یک مدل ریاضی برای این مسأله ارائه شده و در آن محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کنندگان و محدودیت مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده برای هر ماده خام نیز در نظر گرفته شده‌است. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است. همچنین برای ارزیابی الگوریتم ژنتیک، مدل توسط نرم‌افزار GAMS نیز حل شده‌است. مقایسه حاصل از دو روش حل بیانگر کاهش چشمگیری در زمان حل مسائل توسط الگوریتم ژنتیک (به طور میانگین ۸۸/۱ درصد) و همچنین ارائه جوابهایی نزدیک به بهینه و با درصد اختلاف کمی نسبت به GAMS (به طور میانگین ۳/۵۱ درصد) می‌باشد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که الگوریتم ژنتیک ارائه شده یک روش حل مناسب برای مدل مذکور می‌باشد.

۱. مقدمه

محققان و نویسندگان مختلف، نگرش‌ها و تعاریف متفاوتی را از زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. به طور کلی می‌توان گفت زنجیره تأمین سیستمی است شامل تجهیزات و فعالیت‌هایی که محصولات را تولید و به مشتریان توزیع می‌کنند. در حالت کلی زنجیره تأمین از دو یا چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از یکدیگر جدا هستند و به وسیله جریان‌های مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی به یکدیگر مربوط می‌شوند.

مدیریت زنجیره تأمین اساساً مجموعه‌ای از رویکردهای مورد استفاده برای یکپارچه‌سازی مؤثر تأمین‌کنندگان، کارخانجات تولیدی، انبارها و فروشگاه‌ها به منظور تولید و توزیع کالا با کیفیت مناسب، در مکان و زمان مناسب می‌باشد و هدف آن حداقل کردن هزینه‌های سیستم و یا حداکثر کردن سود در حین تأمین سطح سرویس می‌باشد. همچنین می‌توان گفت مدیریت زنجیره تأمین فرایند طراحی اجزاء وکنترل مؤثر و سودمند جریان و ذخیره مواد خام، موجودی در جریان ساخت و کالای ساخته شده از مبدأ تا محل مصرف به منظور برآوردن نیاز مشتری، می‌باشد.

در بسیاری از تحقیقات فرض می‌شود که ساختار کلی زنجیره تأمین مشخص است و هدف از طراحی زنجیره تأمین حداقل کردن هزینه کل سیستم و یا حداکثر کردن سود می‌باشد. با این حال، ساختار فیزیکی زنجیره تأمین به وضوح در عملکرد آن تأثیر

تاریخ وصول: ۹۲/۱۰/۱۶

تاریخ تصویب: ۹۲/۱۱/۲۹

فرانک امتحانی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، f.emtehani@in.iut.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: **فریماه مخاطب رفیعی**، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان ، farimah@cc.iut.ac.ir

می‌گذارد و این نمایانگر اهمیت طراحی مناسب زنجیره تأمین به منظور تسهیل حرکت کالا می‌باشد.

تصمیمات زنجیره تأمین در سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی دسته‌بندی می‌شوند. در فاز طراحی زنجیره تأمین تصمیمات استراتژیک مانند مکانیابی تسهیلات، انتخاب تکنولوژی‌های تولید و همچنین انتخاب تأمین‌کنندگان نقش دارند. پس از تعیین ساختار اصلی زنجیره تأمین، تمرکز بر تصمیمات در سطوح تاکتیکی و عملیاتی مانند تصمیمات مدیریت موجودی مواد اولیه، محصولات میانی، محصولات نهایی و همچنین توزیع محصولات در زنجیره قرار می‌گیرد. در مدل‌های سنتی تمایل به طراحی زنجیره تأمین در فاز تصمیمات استراتژیک بدون لحاظ کردن هزینه‌های مربوط به سطوح تاکتیکی و عملیاتی وجود داشت. اما تحقیقات جدیدتر نشان داد که لحاظ کردن عامل‌های اصلی هزینه نظیر هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی که می‌توانند بر عملکرد زنجیره تأمین اثرگذار باشند، در طراحی زنجیره تأمین، منجر به بهینه‌سازی کلی (و نه محلی) می‌شود و هزینه‌های کل زنجیره را کاهش می‌دهد. بنابراین طراحی یکپارچه زنجیره تأمین موضوع جدیدی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

زنجیره تأمین یکپارچه شامل سه سطح تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی می‌باشد. به طور کلی مطالعات پیشینِ مدل یکپارچه برای زنجیره تأمین فقط در دو سطح توسعه داده شده است: یکپارچه‌سازی تولید و موجودی و یکپارچه‌سازی تولید و توزیع. برای نوع اول معمولا یک فرمولبندی ریاضی و حل جبری برای مدل یکپارچه موجودی-تولید به کار می‌رود. به عنوان مثال یانگ و وی [۱]، یک سیاست یکپارچه موجودی - تولید برای یک تأمین‌کننده و چندین خریدار برای اقلام رو به زوال با نرخ ثابت تولید و تقاضا ارائه کرد.

برای نوع دوم یکپارچه‌سازی اغلب رویکرد برنامه‌ریزی صحیح مختلط برای مسائل تولید - توزیع یکپارچه به کار می‌رود. به عنوان مثال جایارامان و پیرکول [۲] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای مسأله یکپارچه تولید- توزیع به کار بردند. آنها رویکردی برای حل مسأله بر اساس آزادسازی لاگرانژین به کار بردند و یک مثال منطبق بر دنیای واقعی برای پیاده‌سازی مدل فراهم کردند.

کیم و همکاران [۳] یک سیاست یکپارچه تولید- حمل‌ونقل را برای سیستمی با یک شرکت تولیدی و چندین قلم کالا به کار بردند. در اکثر مدل‌های مربوط به یکپارچه‌سازی تولید و توزیع، هزینه‌های تجمعی موجودی نیز در تابع هدف به منظور حداقل کردن هزینه‌های کل لحاظ می‌شود.

بدنه بزرگی از ادبیات در زمینه مدل‌های یکپارچه برای زنجیره تأمین وجود دارد. مرور ادبیات شامل دو قسمت می‌باشد؛ قسمت اول در رابطه با مرورهای پیشین در این زمینه می‌باشد که در اواخر دهه ۹۰ و اوایل ۲۰۰۰ می‌باشد. قسمت دوم بر روی ادبیات موضوع در سال‌های اخیر تمرکز می‌کند که بعد از مقاله‌های پیشین منتشر شد.

ویدال و همکاران [۴] مروری را بر مدل‌های استراتژیک تولید - توزیع با تأکید بر مدل‌های زنجیره تأمین جهانی ارائه کرده‌اند. این مرور بر مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و استراتژی‌های حلشان و نتایج محاسباتی آنها تمرکز می‌کند. محدودیت‌های مختلف و اقلام هزینه در کاربردهای گوناگون خصوصاً از منظر لجستیک جهانی با هم مقایسه شده‌اند. لازم به ذکر است که یکی از کاستی‌های بحرانی همه مدل‌های مطرح شده فقدان لحاظ عدم قطعیت می‌باشد.

سارمینتو و ناجی [۵] نیز مروری بر ادبیات آنالیز یکپارچه سیستم تولید-توزیع داشتند. آنها دریافتند که یکپارچه‌سازی عملیات حمل‌ونقل با عملکرد تولید مثل کنترل موجودی و برنامه‌ریزی تولید و تجهیزات، منافع بسیاری را برای شرکت‌ها به همراه دارد. اما تعداد کمی از مقالات عملی بودن سیستم یکپارچه واقعی را پوشش داده‌اند، زیرا پیچیدگی مدل حل آن را بسیار دشوار کرده است.

ارنگوک و همکاران [۶]، سه سطح را در زنجیره تأمین شناسایی کردند: سطح تأمین‌کنندگان، سطح کارخانجات تولیدی و سطح توزیع‌کنندگان و ادبیات را در برنامه‌ریزی تولید-توزیع در هر سطح بررسی کرده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد که با ساختن یک مدل جبری یکپارچه یا مدل شبیه‌سازی برای هر سه سطح و همچنین اشتراک اطلاعات برای تصمیمات هماهنگ شده (مثل تصمیمات موجودی در بین سطوح مختلف زنجیره تأمین)، سود اساسی حاصل می‌شود.

اشمیت و همکاران [۷]، مقالاتی را در زمینه تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی برای لجستیک بین‌الملل مرور کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که تصمیمات سه سطح با هم در تعامل‌اند و بنابراین یک رویکرد متحد برای ساخت یک مدل یکپارچه در طراحی و عملکرد یک شبکه لجستیک جهانی، مورد نیاز است.

اخیرا تحقیقات در زمینه مدل‌های یکپارچه بیشتر بر روی یک موضوع خاص متدولوژی یکپارچه‌سازی تمرکز کرده‌اند. به عنوان مثال جانسون و همکاران [۸] یک مسأله یکپارچه مکانیابی- تخصیص- مسیریابی برای تهیه و تحویل غذا به منازل را فرمولبندی کرده‌اند و یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای GIS[1] را برای حل مدل به کار بردند. ذگردی و همکاران [۹] یک مسأله مکانیابی مسیریابی یکپارچه را مدلسازی و حل کرده‌اند که در آن تعداد و مکان تسهیلات، اندازه ناوگان حمل‌ونقل و ساختار مسیرها با توجه به مکان و خصوصیات تأمین‌کنندگان و مشتریان تعیین می‌شود. مختاری و همکاران [۱۰] به مدلسازی یکپارچه مسأله برنامه‌ریزی ظرفیت تولید و مسأله زمانبندی تولید پرداخته‌اند و آن را با روش شاخه و کران حل کرده‌اند. مدل آن‌ها در واقع تصمیمات دو سطح تاکتیکی و عملیاتی را یکپارچه می‌کند. ستاک و همکاران [۱۱] یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه را برای طراحی یک زنجیره

تأمین یکپارچه ارائه کرده‌اند که علاوه بر انتخاب تأمین‌کنندگان دو سطح از زنجیره، میزان جریان کالاها را بین خریداران و تأمین‌کنندگان منتخب در هر دو سطح را مشخص می‌کند. رنجبر و همکاران [۱۲] به فرمولبندی و یکپارچه سازی برنامه ریزی تولید و زمانبندی عملیات تولیدی در صنایع فرایندی پیوسته و چند محصولی با قابلیت ذخیره سازی محصولات میانی در بازه‌های کوتاه مدت و بلند مدت پرداخته‌اند.

بیشتر کارها بر توسعه حل جبری برای مدل یکپارچه تولید-موجودی متمرکز شده‌است. ژانگ وکیم [۱۳] یک سیاست یکپارچه تولید، تخصیص و توزیع برای مسأله موجودی تک‌دوره‌ای توسعه دادند که در آن یک تأمین کننده با تقاضای احتمالی چندین مشتری مواجه می‌شود. یک سیاست بهینه برای مسأله با دو مشتری و همچنین یک حل ابتکاری برای مسأله عمومی ارائه شد. ژو و وانگ [۱۴] یک مدل عمومی موجودی-تولید را برای سیستم یکپارچه یک تأمین‌کننده و یک خریدار را پیشنهاد کردند. آنها علاوه بر رویکرد برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط، یک فرمولبندی جبری را در مطالعه خود به کار بردند. ارتوگرال و همکاران [۱۵] هزینه حمل‌ونقل را به طور مستقیم در مدل یکپارچه تأمین‌کننده خریدار شرکت دادند و رویکردی بهینه برای حل مدل‌های یکپارچه ارائه کردند. را و اویانگ [۱۶] یک سیاست یکپارچه موجودی-تولید را در یک افق برنامه‌ریزی محدود و با یک روند خطی در تقاضا، به کار بردند. آنها یک رویه حل بهینه نیز معرفی کردند و بر اساس مثالهای عددی مشخص شد که عملکرد مدل یکپارچه بهتر از عملکرد تصمیم‌گیری مستقل برای تأمین‌کننده و خریدار می‌باشد.

کسکین و همکاران [۱۷] به یکپارچه‌سازی تصمیمات استراتژیک انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی در سطح تاکتیکی در یک زنجیره تأمین دوسطحی پرداختند و یک مدل ریاضی ارائه کردند. آنها علاوه بر هزینه‌های انتخاب تأمین‌کننده و تحویل، هزینه‌های مربوط به موجودی و تصمیمات فروشگاه‌ها را در مدل خود لحاظ کردند و یک مدل یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده و بهینه‌سازی موجودی را ارائه کردند.

به طور خلاصه، یکپارچه‌سازی تصمیمات در سطوح مختلف نیازمند مدل‌های تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی همزمان متغیرهای تصمیم توابع مختلف می‌باشد. بسیاری از محققان زیرمجموعه‌هایی از سیستم یکپارچه تولید - موجودی - توزیع را مدلسازی و بهینه کرده‌اند و متغیرهای تصمیم مختلف، محدودیت‌ها و فاکتورهای هزینه‌ای مختلفی را در مدلشان به کار برده‌اند.

پاتل و همکاران [۱۸]، متفاوت از کارهای پیشین در زمینه یکپارچه‌سازی تصمیمات سطوح مختلف زنجیره تأمین، یک سیستم زنجیره تأمین یکپارچه را مدلسازی و حل کرده‌اند که در آن تصمیمات سه سطح را به طورهمزمان در مدل خود گنجاندند. بدین صورت که در سطح استراتژیک تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مراکز توزیع، در سطح تاکتیکی تصمیم‌گیری در مورد سطوح تولید و سطوح موجودی و در سطح عملیاتی تصمیمات مربوط به پاسخگویی به موقع به تقاضای مشتری را با هم ترکیب کردند.

در این مقاله بر اساس کارهای انجام شده توسط کسکین و همکاران [۱۷] و همچنین با استفاده از مفروضات مقاله پاتل و همکاران، یک مدل ریاضی جهت طراحی یکپارچه زنجیره تأمین ارائه می‌شود. در این مدل برخلاف کارهای قبلی، تقاضا به صورت احتمالی در نظر گرفته شده است. زنجیره تأمین سه سطحی و همچنین مدل چندمحصولی می‌باشد. محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کنندگان و همچنین مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده نیز در مدل گنجانده شده‌است. با توجه به اینکه ترکیب همه این مفروضات در مدل طراحی زنجیره تأمین و مسأله انتخاب تأمین‌کننده تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است لذا این مسأله جهت بسط این دسته مسائل طراحی شده و سپس یک الگوریتم ژنتیک برای حل آن ارائه شده است.

ادامه این مقاله به این شیوه ارائه می‌شود: در بخش دوم مدلسازی مسأله شرح داده می‌شود سپس در ادامه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی جهت حل مدل به تفصیل شرح داده خواهد شد و در نهایت نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل ارائه می‌شود.

۲. مدلسازی مسأله

هدف از طراحی مدل، تعیین ساختار کلی زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان مواد خام، تعیین سیاست‌های خرید (اینکه کدام ماده خام از کدام تأمین‌کننده خریداری شود)، تعیین مقدار سفارش هر ماده خام از تأمین‌کننده انتخابی و دوره‌های سفارش‌دهی می‌باشد. این مورد و مورد قبل پاسخ این سؤال هستند که چه مقدار و در چه زمانی مواد خام مورد نیاز برای ساخت محصولات توسط تولیدکننده سفارش داده شود. همچنین تعیین مقدار و زمان سفارش محصولات به تولید کننده توسط خرده‌فروش بر اساس سیستم سفارش‌دهی (r,Q) احتمالی نیز از جمله تصمیماتی است که مدل پیشنهادی به آنها پاسخ خواهد داد.

به عبارت دیگر این مدل در واقع مدلی برای یکپارچه‌سازی سطوح تصمیم‌گیری در یک زنجیره تأمین سه سطحی می‌باشد که شامل سه سطح تأمین‌کننده، تولید کننده و خرده فروش است که تصمیمات استراتژیک انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی و توزیع در سطوح دوم و سوم زنجیره تأمین را همگام می‌سازد.

۲-۱. مفروضات مدل

مدل مطرح شده در این تحقیق یک مدل طراحی زنجیره تأمین یکپارچه چند محصولی است و تقاضای خرده‌فروش برای محصول نوع i، احتمالی است و توزیع نرمال با میانگین δ_i و انحراف معیار σ_i دارد و LT (موعد تحویل) برای تولیدکننده ثابت و قطعی است.

جریان مواد در زنجیره به این صورت است که مواد خامی که از تأمین‌کننده خریداری می‌شوند، توسط تولیدکننده به محصولات نهایی تبدیل شده و در نهایت به خرده‌فروش ارسال می‌شوند تا به دست مشتری نهایی برسد. هر ماده خام برای ساخت چندین محصول به‌کار می‌رود و همچنین فرض بر این است که هر ماده خام از یک تأمین‌کننده خریداری می‌شود. زنجیره تأمین مذکور شامل یک خرده‌فروش، یک تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده می‌باشد. خرده فروش در سطح سوم بر اساس تقاضای احتمالیِ مشتری نهایی به تولیدکننده در سطح دوم سفارش محصول می‌دهد و تولیدکننده بلافاصله بر اساس سفارش رسیده، مواد خام مورد نیاز برای ساخت محصولات را به سطح اول (تأمین‌کننده) سفارش می‌دهد. به عبارت دیگر خرده‌فروش سفارش خود را از تولیدکننده دریافت می‌کند و تولیدکننده سفارش خود را از تأمین‌کننده تهیه می‌کند. موعد تحویل در سطح خرده فروش یک مقدار عددی ثابت و مثبت اما در سطح تولید کننده موعد تحویل صفر می‌باشد. یعنی فرض بر این است که مواد خام به محض سفارش به تأمین‌کننده به دست تولیدکننده می‌رسند. همچنین فرض می‌شود که در سطح خرده‌فروش کمبود مجاز و تقاضا به صورت پس افت لحاظ می‌شود ولی در سطح تولیدکننده کمبود مجاز نیست. همچنین خرده‌فروش از سیستم بازنگری پیوسته موجودی (r,Q) استفاده می‌کند. و افق برنامه‌ریزی یکساله است.

۲-۲. پارامترهای مدل

پارامترهای مدل به شرح زیر می‌باشد:

F_j هزینه ثابت مربوط به تأمین‌کننده j در صورت انتخاب؛

d_j مسافت بین تولید کننده و تأمین‌کننده j ؛

r_{mj} هزینه حمل و نقل یک واحد ماده خام m به تأمین‌کننده j در واحد مسافت

c_{mj} قیمت خرید ماده خام m از تأمین‌کننده j ؛

n_{mi} مقدار ماده خام نوع m به‌کار رفته در هر واحد محصول i ؛

h_m هزینه نگهداری ماده خام m برای تولیدکننده؛

A_i هزینه ثابت سفارش‌دهی محصول i ؛

g_i هزینه نگهداری سالیانه یک واحد محصول i ؛

c_i قیمت هر واحد محصول i ؛

δ_i میانگین تقاضای خرده فروش برای محصول i ؛

b_i هزینه کمبود به ازای هر واحد کمبود؛

δ_m تقاضا برای ماده خام m ؛

P_j ظرفیت تأمین‌کننده j ؛

max_{mj} حداکثر مقدار ماده خام m که میتوان به تأمین‌کننده j سفارش داد؛

min_{mj} حداقل مقدار ماده خام m که میتوان به تأمین‌کننده j سفارش داد؛

LT موعد تحویل محصول به خرده فروش؛

۲-۳. متغیرهای مدل

متغیرهای مدل به شرح زیر می‌باشد:

x_j متغیر صفرویک می‌باشد که بیانگر انتخاب یا عدم انتخاب تأمین‌کننده j است؛

y_{mj} متغیر صفرویک می‌باشد که بیانگرخرید یا عدم خرید ماده خام m از تأمین‌کننده j است؛

Q_i متغیر پیوسته مثبت می‌باشد که مقدار سفارش محصول i به تولیدکننده (سطح دوم) در هر دوره را نشان می‌دهد؛

Q_m متغیر وابسته به Q_i می‌باشد که بیانگر مقدار سفارش ماده خام نوع m به تأمین‌کننده در هر دوره است و معادل $\sum_i z_{mi} Q_i$ می‌باشد.

۲-۴. مدل ریاضی

مدل ریاضی مسأله به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}\min z = & \sum_j F_j x_j \\ & + \sum_m \sum_j \sum_i r_{mj} * d_j * n_{mi}\delta_i * \frac{\delta_i}{Q_i} * y_{mj} \\ & + \sum_m \sum_j \sum_i c_{mj} n_{mi} \delta_i \, y_{mj} \\ & + \sum_m \sum_i h_m \left(\frac{n_{mi} Q_i}{2}\right) \\ & + \sum_i \left[\frac{A_i \delta_i}{Q_i} + g_i \left(\frac{Q_i}{2} + z_\alpha \sigma_{DLi}\right) + c_i \delta_i\right] \\ & + \sum_i \frac{\delta_i}{Q_i} b_i \left(\frac{\sigma_{DLi}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} - z_\alpha \sigma_{DLi}(1-\alpha)\right)\end{aligned} \quad (۱)$$

s.t:

$$\sum_j y_{mj} = 1 \qquad \forall m \quad (۲)$$

$$y_{mj} \le x_j \qquad \forall i, j \quad (۳)$$

$$\sum_m \sum_i n_{mi} \delta_i \, y_{mj} \le P_j x_j \qquad \forall j \quad (۴)$$

$$min_{mj} y_{mj} \le \sum_i n_{mi} Q_i \le max_{mj} y_{mj} \quad \forall m \quad (۵)$$

تابع هدف فوق (۱)، به ترتیب شامل هزینه‌های ثابت انتخاب تأمین‌کننده، هزینه حمل ماده خام نوع m از تأمین‌کننده به تولیدکننده که به ازای هر بار حملِ یک واحد ماده خام در واحد مسافت می‌باشد، هزینه خرید مواد خام از تأمین‌کننده و هزینه نگهداری مواد خام در سطح دوم زنجیره تأمین(تولیدکننده)، هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری و خرید محصولات در سطح خرده‌فروش و در نهایت هزینه کمبود در سال می‌باشد. لازم به ذکر است که عبارت آخر از ضرب تعداد دوره‌ها در هزینه هر بار کمبود

در متوسط مقدار کمبود در هر دوره حاصل شده‌است. همانطور که می‌دانیم، متوسط مقدار کمبود در هر دوره در سیستم FOS[۲] برای تقاضای پیوسته به صورت $\int_r^{\infty}(x-r)f(x)dx$ می‌باشد که x مصرف در زمان تحویل است و f(x) توزیع آن می‌باشد، r نیز نقطه سفارش مجدد است. با انتگرالگیری از عبارت فوق، عبارت $\left(\frac{\sigma_{DLi}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}}-z_\alpha\sigma_{DLi}(1-\alpha)\right)$ بدست آمده‌است و در فرمول جایگذاری شده است.

محدودیت‌های مدل به صورت زیر تعریف شده‌اند:

محدودیت اول (۲) بیانگر تک منبعی بودن مسأله است بدین معنی که هر ماده خام فقط از یک تأمین‌کننده خریداری می‌شود و همچنین تضمین می‌کند که همه مواد خام خریداری خواهند شد.

محدودیت دوم (۳) از تخصیص دادن ماده خام m به تأمین‌کننده‌ی انتخاب نشده، جلوگیری می‌کند.

محدودیت سوم (۴)، محدودیت ظرفیت هر تأمین‌کننده می‌باشد. لازم به ذکر است که عبارت $\sum_i z_{mi}\delta_i$ معادل تقاضای ماده خام m در سال می‌باشد که مجموع تقاضای همه محصولاتی است که ازماده خام m در تولید آنها استفاده می‌شود ضربدر ضریب استفاده از آن ماده خام توسط محصولات؛

محدودیت چهارم (۵)، محدودیت مقدار سفارش ماده خام m به تأمین‌کننده j است. که در عنوان مقاله با اصطلاح Qu آمده است. یعنی هر تأمین‌کننده برای حداکثر و حداقل مقدار سفارشی که می‌توان به وی داد مقداری تعیین می‌کند به طوریکه مقدار سفارش نباید از آن حدود تجاوز کند.

مدل ارائه شده در این مقاله یک مدل ریاضی MINLP[۳] می‌باشد که تعمیمی از مدل ارائه شده توسط کسکین و همکاران می‌باشد، آنها در مدل خود انتخاب تأمین‌کننده و تصمیم‌گیری در مورد مقدار سفارش را لحاظ کرده‌اند و به یکپارچه سازی تصمیمات در دو سطح زنجیره تأمین‌پرداخته‌اند. در مدل آنها کمبود مجاز نیست و تقاضا را به صورت قطعی در نظر گرفته‌اند. اما در مدل پیشنهادی در این مقاله، زنجیره تأمین به صورت سه سطحی در نظر گرفته شده‌است که به یکپارچه سازی تصمیمات در این سه سطح پرداخته شده است. همچنین تقاضا به صورت احتمالی در نظر گرفته شده‌است و کمبود مجاز می‌باشد.

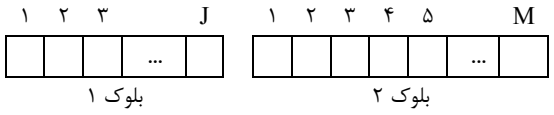
۳. متدولوژی حل بر مبنای الگوریتم ژنتیک

همانطور که ذکر شد مدل ارائه شده در بخش قبل یک مسأله MINLP می‌باشد که حل آن در ابعاد بزرگ از طریق نرم‌افزارهای ریاضی چون GAMS در زمان معقول امکانپذیر نیست، لذا جهت حل مدل در ابعاد بزرگ در زمان معقول و منطقی، در این بخش یک الگوریتم ژنتیک طراحی شده است. در ادامه به شرح چگونگی طراحی و عملکرد این الگوریتم پرداخته می‌شود.

مراحل طراحی این الگوریتم به صورت زیر است:

۳-۱. مشخص کردن رشته جواب

در الگوریتم ژنتیک هر جواب مسأله با یک کروموزوم نشان داده می‌شود. نحوه نمایش کروموزوم در الگوریتم پیشنهادی به گونه‌ای است که علاوه بر انتخاب تأمین‌کننده، نحوه تخصیص مواد خام به تأمین‌کننده نیز مشخص می‌شود. هر متغیر تصمیم متناظر با یک ژن از کروموزوم می‌باشد. به عبارت دیگر هر کروموزوم به دو بلوک تقسیم می‌شود. J ژن اول بلوک (بلوک اول) تعیین‌کننده انتخاب یا عدم انتخاب تأمین‌کننده J ام می‌باشد بدین صورت که عدد ۱ برای هر ژن بیانگر انتخاب و عدد صفر بیانگر عدم انتخاب تأمین‌کننده متناظر با آن ژن می‌باشد. M ژن دوم (بلوک دوم)، نمایانگر نحوه تخصیص مواد خام به تأمین‌کنندگان می‌باشد بدین صورت که مشخص می‌شود هر ماده خام از کدام تأمین‌کننده خریداری شود. شماره هر ژن در این بلوک متناظر با یکی از مواد خام و مقدار آن متناظر با شماره تأمین‌کننده‌ای است که برای خرید آن ماده خام انتخاب شده‌است. مقادیر ژن‌ها در این بلوک از مجموعه ۱ تا j انتخاب می‌شود. (شکل ۱)



شکل ۱. نحوه نمایش کروموزوم‌ها

نحوه طراحی کروموزوم‌ها به گونه‌ای است که محدودیت‌های اول و دوم را پوشش می‌دهد. برای محدودیت اول که مربوط به تک منبعی بودن است، طراحی ژن‌ها در بلوک دوم که مربوط به تخصیص ماده خام به هر تأمین‌کننده می‌باشد به گونه‌ای است که هر ماده خام فقط می‌تواند به یک تأمین‌کننده اختصاص داده شود. بدین صورت که هر ژن متناظر با هر ماده خام در بلوک دوم فقط یک مقدار می‌گیرد که بیانگر شماره تأمین‌کننده مربوطه است.

در مورد محدودیت دوم نیز نحوه اختصاص در بلوک دوم به گونه‌ای است که اگر تأمین‌کننده‌ای در بلوک اول انتخاب نشود، شماره آن به عنوان مقدار هیچیک از ژن‌های بلوک دوم قرار نمی‌گیرد و همچنین شماره تمامی تأمین‌کنندگان انتخاب شده در بلوک اول را شامل می‌شود. همچنین برای تسهیل الگوریتم در مراحل چک کردن محدودیت ظرفیت، بلوک اول کروموزوم به گونه‌ای طراحی شده است که تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی، از یک تعداد مشخص شده براساس محاسبات حداکثر ظرفیتِ هر تأمین‌کننده، بیشتر باشد.

۳-۲. تابع برازندگی

تابع برازندگی از اعمال یک تبدیل مناسب بر روی تابع هدف مسأله که قرار است بهینه شود، بدست می‌آید. این تابع میزان برازندگی

هر کروموزوم را نشان می‌دهد که بیانگر کیفیت هر جواب متناظر با آن کروموزوم می‌باشد. هرچه کیفیت کروموزوم بالاتر باشد، میزان برازندگی جواب متناظر با آن کروموزوم بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی افزایش خواهد یافت.

در مسائل حداکثرسازی به طور معمول تابع هدف را مساوی تابع برازندگی می‌گذارند و در مسائل کمینه‌سازی در بیشتر موارد برازندگی معادل با کمینه بودن تابع هدف می‌باشد. لذا در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا مقدار تابع هدف هر کروموزوم از طریق روش ابتکاری بیان شده در بخش زیر، محاسبه می‌شود و سپس مقدار تابع هدف برابر با میزان برازندگی آن کروموزوم قرار داده می‌شود. میزان برازندگی بر اساس کمینه بودن مقدار تابع هدف تنظیم می‌شود.

۳-۳. جواب امکانپذیر برای مدل

فرض می‌شود که یک جواب امکانپذیر برای متغیرهای صفرویک مسأله موجود باشد. با معین بودن این جواب امکانپذیر برای متغیرهای صفرویک مسأله،این مقادیر به صورت $(\bar{X},\bar{Y})$ در مدل اصلی مسأله جایگزین می‌شوند. بدین ترتیب سه دسته از محدودیت‌های اصلی مسأله که شامل متغیرهای صفرویک می‌باشند، یعنی محدودیتهای اول، دوم و سوم حذف می‌شوند. همچنین در تابع هدف، هزینه‌های ثابت مربوط به انتخاب تأمین‌کننده و هزینه خرید ماده خام از تأمین‌کنندگان نیز حذف می‌شوند. در تابع هدف عبارت باقیمانده بر حسب متغیر Q_i و شامل عبارات هزینه‌های حمل‌ونقل، نگهداری موجودی مواد خام و همچنین هزینه‌های خرید، سفارش‌دهی، نگهداری و کمبود محصول نهایی که از تولیدکنندگان تهیه می‌شود، می‌باشد.

بنابراین برای بدست آوردن یک جواب امکانپذیر نهایی کافی است که مدل برنامه‌ریزی غیرخطی زیر مورد بررسی قرار گیرد، این مدل P' می‌نامیم:

$$\begin{aligned} P' = \min & \sum_m \sum_j \sum_i r_{mj} * d_j * n_{mi}\delta_i * \frac{\delta_i}{Q_i} * \bar{y}_{mj} \\ & + \sum_m \sum_i h_m\left(\frac{n_{mi}Q_i}{2}\right) \\ & + \sum_i \left[\frac{A_i\delta_i}{Q_i} + g_i\left(\frac{Q_i}{2} + z_\alpha\sigma_{DLi}\right) + c_i\delta_i\right] \\ & + \sum_i \left[\frac{\delta_i}{Q_i}(b_i)\left(\frac{\sigma_{DLi}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} - z_\alpha\sigma_{DLi}(1-\alpha)\right)\right] \end{aligned} \quad (۶)$$

با تک محدودیت زیر:

$$\sum_j min_{mj}\bar{y}_{mj} \le \sum_i n_{mi}Q_i \le \sum_j max_{mj}\bar{y}_{mj} \quad \forall m \quad (۷)$$

مسأله P' به i مسأله جدا قابل تفکیک است و می‌توان آن را برای هر محصول، به طور جداگانه نوشت:

$$\begin{aligned} P_i' = \min & \sum_m \sum_j r_{mj} * d_j * n_{mi}\delta_i * \frac{\delta_i}{Q_i} * \bar{y}_{mj} \\ & + \sum_m h_m\left(\frac{n_{mi}Q_i}{2}\right) \\ & + \left[\frac{A_i\delta_i}{Q_i} + g_i\left(\frac{Q_i}{2} + z_\alpha\sigma_{DLi}\right) + c_i\delta_i\right] \\ & + \left[\frac{\delta_i}{Q_i}(b_i)\left(\frac{\sigma_{DLi}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} - z_\alpha\sigma_{DLi}(1-\alpha)\right)\right] \end{aligned} \quad (۸)$$

می‌توان ثابت کرد که تابع هدف فوق یک تابع محدب است. بر این اساس و بدون توجه به محدودیت مسأله، مقدار بهینه Q_i از قرار دادن مشتق تابع هدف برابر با صفر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial P_i'}{\partial Q_i} = 0 \quad (۹)$$

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2\delta_i\left[\sum_m\sum_j\left(r_{mj} * d_j * n_{mi}\delta_i * \bar{y}_{mj}\right) + A_i + b_iB_i\right]}{g_i + \sum_m h_m z_{mi}}} \quad (۱۰)$$

در عبارات فوق مقدار کمبود را با B_i نشان داده و در فرمول جایگذاری شده است:

$$B_i = \frac{\sigma_{DLi}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} - z_\alpha\sigma_{DLi}(1-\alpha) \quad (۱۱)$$

اگر مقدار Q_i^* بدست آمده در محدودیت مقدار سفارش صدق کند، به ازای متغیرهای صفرویک مشخص شده $(\bar{X},\bar{Y})$، مقدار بهینه Q_i در مسأله P' برابر با مقدار Q_i^* خواهد بود و بردار $(\bar{X},\bar{Y},Q^*)$ یک جواب امکانپذیر برای مسأله اصلی است. اما اگر مقدار Q_i^* در محدودیت صدق نکرد به صورت زیر عمل می‌شود:

با توجه به محدودیت مسأله، حداکثر مقدار و حداقل مقدار محصول نهایی (Q_i) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

همانطور که در فرضیات مسأله ذکر شد و در محدودیت اول نیز قابل مشاهده است، هر ماده خام را فقط می‌توان از یک تأمین‌کننده خریداری کرد. بر این اساس اگر حداکثر مقدار ماده خام خریداری شده m از تأمین‌کننده j برابر با max_{mj} باشد، حداکثر مقدار هر محصول i را که می‌توان با این مقدار ماده خام ساخت، $(maxQ_{mi})$ به صورت زیر بدست می‌آید.

$$maxQ_{mi} = \frac{max_{mj}}{Kz_{mi}} \quad (۱۲)$$

K بیانگر تعداد انواع محصولاتی است که از ماده خام نوع m در ساخت آنها استفاده می‌شود. بدین ترتیب برای هر محصول مقادیر

$maxQ_{mi}$ به ازای همه مواد خام مورد استفاده در ساخت آن محصول محاسبه می‌شود. با در دست داشتن این مقادیر، حداکثر مقدار هر محصول با توجه به همه مواد خام به کار رفته در آن به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$maxQ_i = min_m\{maxQ_{mi}\} \qquad \forall i \qquad (۱۳)$$

به همین ترتیب حداقل مقدار هر محصول نیز قابل محاسبه و به صورت زیر می‌باشد:

$$minQ_{mi} = \frac{min_{mj}}{Kz_{mi}} \qquad (۱۴)$$

$$minQ_i = max_m\{minQ_{mi}\} \qquad \forall i \qquad (۱۵)$$

پس از محاسبه حداکثر و حداقل مقدار قابل سفارش، این مقدار با مقدار Q_i^* مقایسه می‌شود؛ دو حالت وجود دارد:

۱. اگر Q_i^* بزرگتر از $maxQ_i$ باشد، بنابراین مقدار $maxQ_i$ را به عنوان Q_i^* در نظر گرفته می‌شود.

۲. اگر Q_i^* کوچکتر از $minQ_i$ باشد، بنابراین مقدار $minQ_i$ را به عنوان Q_i^* در نظر گرفته می‌شود.

بردار $(\bar{X},\bar{Y},Q^*)$ یک جواب شدنی مسأله می‌باشد. بدین ترتیب یک جواب شدنی برای مسأله اصلی حاصل می‌شود. این برای حالتی است که همه محصولات بخواهند به اندازه حداکثر مقدار ممکن با توجه به حداکثر مقدار مواد خام تولید شوند، حال ممکن است محصولی کمتر از ماکزیمم مقدارش نیاز باشد، در این صورت مابقی مواد خامی که سهم این محصول بوده اما استفاده نشده می‌تواند برای ساخت محصول دیگری استفاده شود و آن محصول می‌تواند بیشتر از آن حد ماکزیمم محاسبه شده تولید شود. برای اینکه در الگوریتم ژنتیک این جوابها را از دست ندهیم وفضای حل گسترده‌تر شود این حالت را به الگوریتم اضافه می‌کنیم. بدین ترتیب که پس از محاسبه بردار Q^* مقدار Q_i برای برخی از محصولات را کاهش می‌دهیم و برای برخی محصولات دیگر افزایش می‌دهیم. این افزایش یا کاهش باید به مقداری باشد که مقدار ماده خام از حدود حداکثر و حداقل خود تجاوز نکند. برای جلوگیری از ایجاد جواب‌های نشدنی بعد از ایجاد هر رشته از Q شرط شدنی بودن جواب چک می‌شود و جواب‌های نشدنی حذف می‌شوند.

۴-۳. عملگرهای الگوریتم ژنتیک

عملگرهای الگوریتم GA شامل عملگرهای تقاطع، جهش و انتخاب والد می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی از تقاطع یکنواخت در هر دو بلوک کروموزوم استفاده شده‌است و همچنین عملگر جهش به گونه‌ای طراحی شده است که یک یا چند ژن از کروموزوم را به طور تصادفی تغییر می‌دهد. نحوه انتخاب والد نیز به صورت تصادفی می‌باشد. شرط خاتمه در الگوریتم ژنتیک به طور معمول عدم بهبود جواب در تعداد معینی تکرار الگوریتم می‌باشد. در الگوریتم GA پیشنهادی این تعداد تکرار با روش سعی و خطا برابر با صدوپنجاه در نظر گرفته شده است.

۴. نتایج محاسباتی

در این بخش ابتدا طریقه تولید مسائل و دسته‌بندی آنها بیان شده سپس نحوه تنظیم پارامترهای الگوریتم GA شرح داده می‌شود. و در آخر نتایج حاصل از حل مدل توسط نرم‌افزار GAMS و همچنین توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی آورده و مقایسه شده است. برای کدنویسی الگوریتم ژنتیک از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.

۴-۱. تولید مسأله

برای حل مدل ۱۲ دسته مسأله بر اساس تعداد تأمین‌کنندگان در شش اندازه ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ ، تعداد انواع محصولات در شش اندازه ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰، و تعداد انواع مواد خام در پنج اندازه ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰۰، و برای هر دسته مسأله، ۱۰ مسأله با ابعاد یکسان و پارامترهای متفاوت تولید شده‌است. تمامی این مسائل هم توسط نرم‌افزار GAMS با محدوده زمانی ۵ ساعت و هم توسط الگوریتم ژنتیک حل شده‌اند. نتایج حل مسأله با این دو رویکرد و مقایسه آن‌ها در جدول (۳) آورده شده‌است. کلیه پارامترهای مسأله به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت بین $[a,b]$ تولید شده‌اند. z_α برابر با ۱/۶۴ یعنی در سطح اطمینان ۹۵٪ درنظرگرفته‌شده‌است. بازه‌های تولید پارامترها در جدول ۴-۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که حدود P_j که بیانگر ظرفیت تأمین‌کننده j می‌باشد، با استفاده از مقاله کسکین و همکاران [۱۷] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

جدول ۱

نام پارامتر	توزیع پارامتر
F_j	U(۵۰۰۰۰،۱۰۰۰۰۰)
d_j	U(۱،۱۵۰)
r_{mj}	U(۰/۰،۰۰۲/۰۰۱)
c_{mj}	U(۱،۱۰)
n_{mi}	U(۰،۱۰)
h_m	U(۱۰،۲۰)
A_i	U(۷۵،۳۰۰)
g_i	U(۵،۱۰)
δ_i	U(۳۵۰،۱۵۰۰)
c_i	U(۱۵،۲۰)
b_i	U(۵،۲۰)
max_{mj}	U(۳۰۰۰،۷۰۰۰)
min_{mj}	U(۲۰،۱۰۰)
P_j	(Lcap,Ucap)
LT	U(۰/۰،۰۱/۰۰۵)

$$Lcap = \frac{4 * \sum_m \delta_m}{j} \quad , \quad Ucap = \frac{8 * \sum_m \delta_m}{j} \qquad (۶) \text{ و } (۷)$$

همانطور که قبلا ذکر شد، δ_m تقاضای سالیانه ماده خام m است که معادل $\sum_i z_{mi}\delta_i$ می‌باشد.

۴-۲. تنظیم پارامترهای GA

اگرچه الگوریتم ژنتیک توانایی زیادی در ارائه جواب‌های خوب دارد، اما عملکرد آن تا حد زیادی تحت تأثیر پارامترهای الگوریتم می‌باشد.

از جمله پارامترهای مهم در الگوریتم ژنتیک، احتمال بازتولید، احتمال ترکیب، احتمال جهش، نرخ جهش و تعداد افراد هر جمعیت می‌باشد. از سوی دیگر نوع تابع مورد استفاده برای محاسبه میزان برازش هر فرد جامعه و عملگرهایی چون انتخاب (مانند چرخ رولت، نمونه‌برداری تصادفی جهانی)، ترکیب و جهش از جمله توابع اثرگذار بر عملکرد الگوریتم ژنتیک است.

در الگوریتم پیشنهادی، تابع برازش، همان مقدار تابع هدف می‌باشد. بدین صورت که هرچه مقدار تابع هدف کمتر باشد برازندگی جواب بیشتر است. احتمال بازتولید (همان مفهوم نخبه‌گرایی) نیز ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود. در اینجا به بررسی تغییرات هر پارامتر با ثابت فرض نمودن سایر پارامترها در هر بعد از مسأله می‌پردازیم. در این راستا برای هر پارامتر، الگوریتم ۱۰ بار متوالی اجرا شده و برای مقایسه از میانگینِ این ۱۰ جواب استفاده می‌شود. شرط توقف در هر بار اجرا، عدم بهبود در بهترین جواب بدست آمده طی ۱۵۰ تکرار اخیر الگوریتم می‌باشد. برای P_c (احتمال ترکیب)، چهار مقدار ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶و ۰/۵ ، برای P_m (احتمال جهش)، چهار مقدار ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳و ۰/۴ ، برای نرخ جهش (mu) سه مقدار ۰/۱، ۰/۲ ، ۰/۳ و برای تعداد افراد هر جمعیت (Npop) مقادیر ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درنظر گرفته شده‌است. که پس از اعمال این تغییرات و مقایسه جواب‌ها، مقدار نهایی پارامترها بر اساس میانگین تابع هدف کمتر انتخاب شده و نتایج در جدول ۴-۲ آورده شده است.

جدول ۲

	ابعاد کوچک	ابعاد متوسط	ابعاد بزرگ
P_c	۰/۸	۰/۵	۰/۵
P_m	۰/۱	۰/۴	۰/۴
mu	۰/۲	۰/۱	۰/۳
Npop	۴۰	۴۰	۳۰

۴-۳. نتایج حاصل از حل مدل

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل توسط نرم‌افزار GAMS و همچنین الگوریتم GA آورده‌شده است و از لحاظ کیفیت جواب‌ها و زمان حل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. (جدول ۴-۳)

برای حل توسط نرم‌افزار GAMS، محدودیت زمانی ۵ ساعت گذاشته شده است. لازم به ذکر است که در الگوریتم ژنتیک هر مسأله از ۱۲۰ مسأله تولید شده، ۱۰ بار اجرا شده و بهترین جواب به عنوان جواب آن مسأله در نظر گرفته شده است.

در جدول مذکور، ستون‌های اول، دوم، سوم مربوط به تعریف مسائل است. ستون‌های چهارم و پنجم به ترتیب میانگین توابع هدف و زمان حل ۱۰ مسأله توسط GAMS در هر دسته را نشان می‌دهد. (در دسته مسائل بزرگ فقط میانگین همان تعداد مسائلی که GAMS قادر به حل آنها بوده آورده شده است.) ستون ششم (n) بیانگر تعداد مسائلی از هر دسته می‌باشد که GAMS قادر به حل آنها در محدوده زمانی ۵ ساعت بوده است. ستون‌های هفتم و هشتم به ترتیب میانگین توابع هدف و زمان حل ۱۰ مسأله در هر دسته را برای الگوریتم GA نشان می‌دهد. ستون نهم و دهم به ترتیب بیانگر میزان افزایش جواب و میزان کاهش زمان حل الگوریتم ژنتیک نسبت به GAMS می‌باشند که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

میزان اختلاف جواب GA نسبت به جواب GAMS:

$$S.GAP = \frac{Obj(GA) - Obj(GAMS)}{Obj(GAMS)}$$

میزان کاهش زمان حل GA نسبت به GAMS:

$$T.GAP = \frac{Run\ Time(GAMS) - Run\ Time(GA)}{Run\ Time(GAMS)}$$

همانطور که در جدول ۴-۳ مشاهده می‌شود، نرم‌افزار GAMS قادر به حل تعداد کمی از مسائل در ابعاد بزرگ در محدوده زمانی ۵ ساعت بوده‌است در حالیکه الگوریتم GA به طور میانگین در کمتر از ۲۸۰۰ ثانیه قادر به ارائه جواب نزدیک به بهینه در همه این دسته مسائل بوده‌است. نتایج مشهود در جدول ۴-۴ نشان می‌دهد که اختلاف جواب‌های حاصل از دو رویکرد حل به طور میانگین در ابعاد کوچک ۱ درصد، در ابعاد متوسط ۴/۳ درصد و در ابعاد بزرگ ۵/۷ درصد می‌باشد. همچنین درصد کاهش زمان حل الگوریتم ژنتیک نسبت به GAMS به طور میانگین در ابعاد کوچک، بزرگ و متوسط به ترتیب ۸۸ درصد، ۸۵ درصد و ۹۲ در صد می‌باشد. بنابراین باتوجه به درصد اختلاف کمی که بین جوابهای حاصل از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزر GAMS وجود دارد و همچنین کاهش چشمگیر زمان حلِ الگوریتم ژنتیک نسبت به زمان‌های حل توسط نرم‌افزار GAMS، می‌توان گفت که الگوریتم ارائه شده، یک ابزار حل مناسب برای مسأله مطرح شده می‌باشد.

جدول ۳

اندازه مسأله	شماره مسأله	دسته مسأله	GAMS			GA			میزان اختلاف جواب GA نسبت به جواب GAMS (S.GAP)	میزان کاهش زمان حل GA نسبت به GAMS (T.GAP)
			میانگین تابع هدف ۱۰ مسأله	میانگین زمان حل ۱۰ مسأله (برحسب ثانیه)	n	میانگین تابع هدف ۱۰ مسأله	میانگین زمان حل ۱۰ مسأله (برحسب ثانیه)			
کوچک	۱	۶ -۱۰ -۱۵	۲۶۴۴۸۴۵/۹۲	۱۳/۴۵	۱۰	۲۶۵۸۶۷۸/۴۶۴	۱		۰/۰۰۵	۰/۹۳
	۲	۶ -۱۵ -۲۰	۶۷۰۶۸۱۵/۷۶	۳۸۴/۴۹	۱۰	۶۸۹۷۸۲۵/۸۷۳	۵۸		۰/۰۱۲	۰/۸۵
	۳	۱۰ -۱۰ -۱۵	۲۶۶۱۶۰۵/۷۱	۶۲/۲۹	۱۰	۲۶۸۶۹۱۷/۵۸	۷		۰/۰۰۹	۰/۸۹
	۴	۱۰ -۱۵ -۲۰	۴۸۴۱۰۰۴/۸۷	۸۸/۲۵	۱۰	۴۹۱۰۳۲۸/۰۶	۱۲		۰/۰۱۴	۰/۸۶
	۵	۱۵ -۲۰ -۳۰	۹۶۵۲۲۶۱/۱۶	۶۸/۳۴	۱۰	۹۹۸۱۲۱۰/۲۲	۱۳		۰/۰۳۴	۰/۸۱
متوسط	۶	۱۵ -۳۰ -۴۰	۲۵۰۷۴۲۵۳/۴۸	۹۵/۷۱	۱۰	۲۶۳۴۰۵۰۳/۲۸	۱۵		۰/۰۵۰	۰/۸۵
	۷	۲۰ - ۲۰ -۳۰	۸۵۹۹۴۸۲/۵۵	۸۹/۰۵	۱۰	۸۹۸۲۷۶۱/۴۸	۱۱		۰/۰۴۲	۰/۸۸
	۸	۲۰ - ۳۰ -۴۰	۱۹۸۸۴۷۷۹/۲۳	۲۴۶/۲۸	۱۰	۲۰۸۶۷۴۸۵/۰۱	۳۶		۰/۰۴۸	۰/۸۵
	۹	۲۵ -۵۰ -۱۰۰	۱۱۸۰۳۲۳۰۹/۲۷	۱۴۱۱۹	۳	۱۲۵۴۸۲۵۰۸/۶۳	۹۸۴		۰/۰۵۳	۰/۹۳
بزرگ	۱۰	۲۵ -۱۰۰ -۱۰۰	۲۹۱۵۶۱۹۹۵/۸	۹۷۳۳	۵	۳۰۸۴۰۸۴۴۷/۹۲	۴۳۷		۰/۰۵۷	۰/۹۵
	۱۱	۵۰ -۵۰ -۱۰۰	۶۶۸۹۳۲۶۳/۶۳	۱۵۰۹۴	۱	۷۱۱۴۱۶۵۴/۸۴	۱۶۳۳		۰/۰۶۳	۰/۸۹
	۱۲	۵۰ -۱۰۰ -۱۰۰	-	۱۸۰۰۰	۰	۵۶۸۳۱۲۲۴۲/۵۴	۲۷۵۰		-	-

جدول ۴

اندازه مسأله	میانگین اختلاف جواب GA و GAMS	میانگین اختلاف زمان حل GA و GAMS
کوچک	۰/۰۱	۰/۸۸
متوسط	۰/۰۴۳	۰/۸۵
بزرگ	۰/۰۵۷	۰/۹۲

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک مسأله طراحی زنجیره تأمین یکپارچه سه سطحی مورد بررسی قرارداده شد که شامل چندین تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش می‌باشد. تقاضا به صورت احتمالی و مدل چند محصولی می‌باشد. سپس یک مدل ریاضی MINLP ارائه شد که همزمان تصمیمات استراتژیک انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی و توزیع در سطوح تاکتیکی و عملیاتی در آن گنجانده شده است. پس از مدلسازی مسأله، یک رویکرد بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل این مسأله مطرح شد و نتایج محاسباتی برای آن ارائه شد. نتایج حاصل از حل مدل توسط الگوریتم ژنتیک بیانگر این امر است که الگوریتم ارائه شده، برای حل مسأله عنوان شده در این مقاله یک الگوریتم کارا و مناسب می‌باشد. به عنوان جهت‌گیری‌های آتی برای ادامه تحقیق می‌توان به ارائه رویکردهای دیگری جهت حل مدل MINLP ارائه شده و مقایسه جوابهای حاصله با الگوریتم ژنتیک پیشنهادی اشاره کرد. همچنین می‌توان مدل را به چندین تولیدکننده و چندین خرده‌فروش بسط داد و تصمیمات تخصیص تقاضای خرده‌فروش به هر تولیدکننده را نیز درمدل لحاظ کرد.

پی‌نوشت

1. Geographic Information System
2. Fixed Order Size
3. Mixed Integer Non Linear Problem

مراجع

[1] Yang PC, Wee HM. A single-vendor and multiple-buyers production–inventory policy for a deteriorating item, European Journal of Operational Research, 2002, Vol. 143, pp. 570-581.

[2] Jayaraman V, Pirkul H. Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities, European Journal of Operational Research, 2001, Vol. 133, pp. 394-408.

[3] Kim T, Hong Y, Chang SY. Joint economic production-shipment policy in a single-manufacturer-multiple-item system, International Journal of Industrial Engineering, 2006, Vol. 13, p. 357.

[4] Vidal CJ, Goetschalckx M. Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models, European Journal of Operational Research, 1997, Vol. 98, pp. 1-18.

[5] Sarmiento AM, Nagi R. A review of integrated analysis of production–distribution systems, Iie Transactions, 1999, Vol. 31, pp. 1061-1074.

[6] Erenguc SS, Simpson N, Vakharia AJ. Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review, European Journal of Operational Research, 1999, Vol. 115, pp. 219-236.

[7] Schmidt G, Wilhelm WE. Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: a review and discussion of modelling issues, International Journal of Production Research, 2000, Vol. 38, pp. 1501-1523.

[8] Johnson MP, Gorr WL, Roehrig S. Location/allocation/routing for home-delivered meals provision: models & solution approaches, International Journal of Industrial Engineering, 2002, Vol. 9, pp. 45-56.

[۹] ذگردی، سید حسام الدین؛ نیک‌بخش، احسان. حل ابتکاری و کران پایین برای مسأله مکانیابی - مسیریابی دو رده‌ای، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۰، شماره ۱، ۱۳۸۸، صص. ۱۴-۱۱.

[۱۰] مختاری، هادی، نخعی‌کمال‌آبادی، عیسی؛ امین ناصری، محمدرضا. مدلسازی و حل تحلیلی مسأله برنامه ریزی ظرفیت و زمانبندی تولید یکپارچه: استخراج کران پایین و طراحی یک الگوریتم شاخه و کران کارا، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۴، شماره ۲، ۱۳۹۲، صص. ۱۳۹-۱۱۷.

[۱۱] ستاک، مصطفی، شریفی، سمانه. یک مدل ریاضی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان دو لایه از زنجیره تأمین، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ۱، ۱۳۹۰، صص. ۹۸-۹۱.

[۱۲] رنجبر، محمد؛ نقی‌زاده، مصطفی. یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید در صنایع فرایندی چند محصولی با سیستم تولیدی پیوسته، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ۲، ۱۳۹۰، صص. ۱۲۶-۱۱۳.

[13] Jang W, Kim D. Integrated production and allocation policies with one direct shipping option, European Journal of Operational Research, 2007, Vol. 181, pp. 716-732.

[14] Zhou YW, Wang SD. Optimal production and shipment models for a single-vendor–single-buyer integrated system, European Journal of Operational Research, 2007, Vol. 180, pp. 309-328.

[15] Ertogral K, Darwish M, Ben-Daya M. Production and shipment lot sizing in a vendor–buyer supply chain with transportation cost, European Journal of Operational Research, 2007, Vol. 176, pp. 1592-1606.

[16] Rau H, OuYang B. An optimal batch size for integrated production–inventory policy in a supply chain, European Journal of Operational Research, 2008, Vol. 185, pp. 619-634.

[17] Keskin BB, Üster H, Çetinkaya S. Integration of strategic and tactical decisions for vendor selection under capacity constraints, Computers & Operations Research, 2010, Vol. 37, pp. 2182-2191.

[18] Patel MH, Wei W, Dessouky Y, Hao Z, Pasakdee R. Modeling and Solving an Integrated Supply Chain System, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, 2009, Vol. 16, pp. 13-22.