

یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه برای یک سیستم تولید - توزیع یکپارچه و حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای

ساسان خلیفه زاده*، مهدی سیف برقی**

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲ - تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۳۰)

چکیده

هدف این مقاله، ارائه یک سیستم تولید-توزیع یکپارچه با مراکز تولید و مراکز توزیع چندگانه در حالت مجاز بودن کمبود است. برای جابجایی محصولات، چند نوع سیستم حمل با قابلیت اطمینان متفاوت در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی، یک مدل عدد صحیح ترکیبیاتی دو هدفه است. تابع هدف اول، کمینه سازی هزینه سیستم و تابع هدف دوم بیشینه سازی قابلیت اطمینان در حمل و نقل محصولات است. در مدل پیشنهادی، با افزایش اندازه مسائل، زمان حل بسیار افزایش یافته و روش‌های دقیق در یک زمان معقول، جواب موجهی ارائه نداده‌اند، به همین دلیل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک بنام الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای ارائه شده است. در این روش چند نوع عملگر تقاطع استفاده می‌شود و پس از بکارگیری آن‌ها در حل مدل، آن‌ها از جمعیتی به جمعیت دیگر رتبه بندی می‌شوند و عملگرهای بهتر، شانس بیشتری در ایجاد جواب‌های جمعیت بعد دارند. این دو الگوریتم در حل مدل پیشنهادی استفاده شده و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای نسبت به الگوریتم ژنتیک کلاسیک به خصوص در مثال‌های بزرگ به جواب‌های بهتری می‌رسد.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین، مجاز بودن کمبود، قابلیت اطمینان، الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای

* دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران جوان، کرج، ایران

sasan_kh19@yahoo.com

** دانشیار دانشگاه الزهراء، دانشکده فنی و مهندسی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین بدلیل مشخصه های بازار رقابتی امروز مانند تنوع طراحی، سرعت ساخت و روش توزیع محصولات، افزایش سطح خدمت، افزایش کارایی و کاهش هزینه ها، در شرکت ها اهمیت زیادی یافته است. از مهمترین اهداف مدیریت زنجیره تأمین، یکپارچه سازی تصمیمات در بخش های مختلف سیستم مانند برون سپاری، برنامه ریزی تولید، موجودی و مدیریت توزیع است که تمرکز روی این عوامل باعث بهینه سازی کل هزینه های سیستم می شود (سیمچی-لوی و همکاران، ۲۰۰۴). ارایه یک مدل کلی برای یک زنجیره تأمین که تمام بخش ها و حلقه های زنجیره را پوشش دهد، بسیار دشوار است. به همین دلیل، در هر یک از مدل های ارایه شده قسمتی از شبکه زنجیره تأمین مورد توجه بوده است.

یکپارچه سازی حلقه های تولید-توزیع، از جمله مهمترین مسئله های بهینه سازی در شبکه زنجیره تأمین است. برخی مسئله های طراحی سیستم های تولید-توزیع^۲ (PDSD) شبکه های دو مرحله ای هستند که بخش های تولید، توزیع و مشتریان را در نظر می گیرند، در حالی که برخی دیگر شبکه های سه مرحله ای هستند که بخش تأمین (فراهم کننده مواد اولیه) را نیز در نظر می گیرند. برخی تحقیقات مربوط به طراحی سیستم های تولید-توزیع، به مکان یابی تسهیلات پرداخته و سایر تحقیقات در این زمینه، با فرض مشخص بودن مکان تمامی تسهیلات، به بهینه سازی هزینه های تولید و توزیع می پردازند (کسکین و آستر، ۲۰۰۷).

آلیو^۴ و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل برنامه ریزی یکپارچه تولید-توزیع فازی در حالت چند محصولی و چند دوره ای با در نظر گرفتن رابطه بین تقاضای بازار و سود ارایه کرده اند. پاخارل^۵ (۲۰۰۸)، یک سیستم تک دوره ای و تک محصولی در حالت چند تأمین کننده، یک متاثرکننده، چند مرکز توزیع و چند خرده فروش با دو هدف کمینه سازی هزینه سیستم و بیشینه

¹ Simchi-Levi

² Production Distribution Systems Design (PDSD)

³ Keskin and Uster

⁴ Aliev

⁵ Pokharel

سازی قابلیت اطمینان ارایه داده است. بودیا و پرینس^۱ (۲۰۰۹)، یک سیستم تولید-توزیع در حالت چند محصولی و چند دوره ای با هدف کمینه سازی هزینه های آماده سازی، موجودی و توزیع را مورد مطالعه قرار داده است. کاظمی^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، یک سیستم تولید-توزیع را با حلقه های تأمین، تولید، متناژ، توزیع و مشتری در نظر گرفته اند. در حل این سیستم، یک الگوریتم ژنتیک با رویکردی سیستمی پیشنهاد داده اند.

ساکال^۳ (۲۰۱۰)، یک سیستم تولید-توزیع با چند مرکز تولید، چند مرکز توزیع، در حالت چند محصولی و چند دوره ای را در نظر گرفته و یک مدل برنامه ریزی خطی برای مسئله طراحی کرده است. جولایی^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، یک سیستم تولید-توزیع با چند مرکز تولید و چند مرکز توزیع را در حالت چند محصولی ارایه داده اند. یک مدل چند هدفه فازی برای این سیستم طراحی کرده و با بکارگیری یک روش الگوریتم ژنتیک ابتکاری این مدل را حل کرده اند. آرمنتانو^۵ و همکاران (۲۰۱۱)، یک سیستم تولید-توزیع با یک مرکز تولید با محدودیت ظرفیت و چند مرکز توزیع و در حالت چند محصولی و چند دوره ای مطرح کرده اند. یک مدل ریاضی با هدف کمینه سازی هزینه های موجودی و تولید طراحی کرده اند. آرچتی^۶ و همکاران (۲۰۱۱)، یک سیستم تولید-توزیع، با یک تولید کننده و یک محصول در نظر گرفته اند. این محصول با وسایل نقلیه سریع بین خرده فروشان موجود توزیع می شوند.

آموریم و همکاران (۲۰۱۲)، یک مدل برنامه ریزی چند هدفه تولید-توزیع در حالتی که محصولات فسادپذیر هستند، ارایه داده اند. در مدل پیشنهادی آن ها، کمینه سازی هزینه کل و میزان تازگی محصولات در هنگام تحویل، مورد نظر قرار گرفته و طی مثال هایی این دو هدف با هم مقایسه شده اند. لیونگ و ژی-لانگ^۸ (۲۰۱۳)، یک مسأله برنامه ریزی

¹ Boudia and Prins

² Kazemi

³ Sakall

⁴ Jolai

⁵ Armentano

⁶ Archetti

⁷ Amorim

⁸ Leung and Zhi-Long

تولید- توزیع یکپارچه در نظر گرفته اند. در مسأله مورد بررسی آن ها، مجموعه ای از سفارشات داده می شود و آنگاه کل این سفارشات باید با تعداد محدودی وسیله حمل به مشتریان تحویل داده شوند. الگوریتم هایی برای کمینه سازی حداکثر تأخیرات در تحویل سفارشات و کمینه سازی تعداد وسایل حمل برای تأمین سفارشات ارائه داده اند. وارثانان و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبیاتی چند دوره ای با چند محصول و چند تولید کننده مطرح کرده اند. اهداف مدل پیشنهادی آن ها، کاهش هزینه کل و کمینه سازی تغییر سطوح کار و زمان بیکاری است. برای حل مسائل سخت تولید-توزیع، یک روش AHP جدید بر پایه الگوریتم ابتکاری بهینه سازی توده ذرات گسسته (DPSO) ارائه داده اند.

فهم نیا و همکاران (۲۰۱۳)، یک مرور جامع روی مسائل بهینه سازی و برنامه ریزی مدل های تولید توزیع پرداخته اند. در مقاله آن ها، مدل های تولید-توزیع با توجه به میزان پیچیدگی آن ها به هفت دسته تقسیم شده اند. مشخصات اصلی هر مدل در هر دسته را در قالب جدول هایی ارائه داده اند. در آخر، حوزه های بررسی نشده موضوع تولید-توزیع و تحقیقات آتی در این زمینه را پیشنهاد داده اند. لی و کیم (۲۰۱۴)، یک مدل تولید-توزیع یکپارچه برای تعیین سیاست بهینه برای اقلام معیوب و روبه فساد تحت سیستم فروشنده واحد و خریدار واحد ارائه داده اند. هدف مدل پیشنهادی آن ها بهینه سازی سود زنجیره تأمین با یافتن مقدار بهینه تحویل است. با مطرح کردن مثال های عددی و تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی، به بررسی مدل پرداخته اند.

در بسیاری از سیستم ها، بدلیل عوامل مختلفی مانند بالا بودن هزینه های ثابت حمل و نقل، طولانی بودن زمان های آماده سازی برای تولید محصولات مختلف و محدودیت ظرفیت تولید کارخانجات، تأمین تقاضای مشتریان در برخی دوره ها ممکن است با تأخیر

¹ Varthanan

² Fahimnia

³ Lee and Kim

مواجهه شود. در این حالت، مواجهه با کمبود در تأمین تقاضاها به مدل اضافه می‌شود. بسیاری از محققان، سیستم‌های تولید- توزیع را با فرض غیر مجاز بودن کمبود مدل سازی کرده‌اند. هدف این مقاله ارایه یک سیستم تولید- توزیع یکپارچه دو هدفه با چند مرکز تولید و چند مرکز توزیع در حالت چند محصولی و چند دوره ای است. در این سیستم، مواجهه با کمبود به صورت پس افت مجاز است. در این سیستم، مشتریان اولویت بندی می‌شوند، بطوری که در هر دوره ابتدا تقاضای مشتریان با اولویت بالاتر تأمین می‌شود. چند نوع سیستم حمل در نظر گرفته شده، بطوری که هر سیستم قابلیت اطمینان متفاوتی دارد و مسیرهای مختلف نیز دارای قابلیت اطمینان متفاوت هستند.

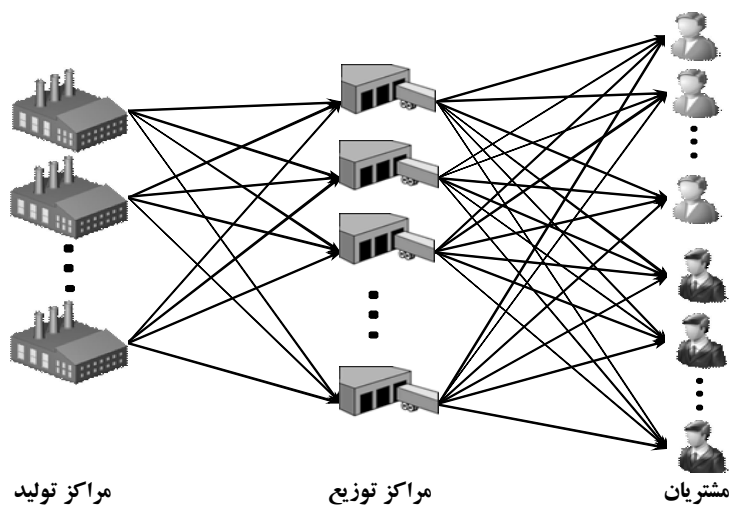
بیان مسأله

فرض کنید که چند کارخانه تولید کننده موجود است. هر کارخانه می‌تواند محصولات خود را به هر مرکز توزیع بفرستد. ظرفیت هر مرکز توزیع محدود فرض می‌شود. ظرفیت انبارهای مراکز توزیع با توجه به حجم محصولات، تخمین زده می‌شود. مشتریان به دو نوع تقسیم می‌شوند: مشتریان با اولویت اول و مشتریان با اولویت دوم. تقاضای مشتریان اولویت اول با سطح خدمت بالاتری نسبت به مشتریان اولویت دوم، برآورده می‌شود. همه تقاضاها در پایان دوره آخر باید برآورده شده باشند. برای برآورده‌سازی تقاضای مشتریان، محصولات از هر کارخانه به هر مرکز توزیع و همچنین از هر مرکز توزیع به هر مشتری ارسال می‌شوند.

چند نوع سیستم حمل وجود دارد. هر سیستم حمل، با توجه به سوابق آن از نظر عواملی چون زمان تحویل، میزان خسارت محصولات، تحویل محصولات در مکان صحیح و نوع بیمه، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و برای هر سیستم حمل، یک قابلیت اطمینان در نظر گرفته می‌شود. قابلیت اطمینان هر سیستم حمل، رابطه مستقیم با هزینه ثابت و متغیر آن سیستم حمل دارد. همچنین به هر مسیر با توجه به سوابق آن از لحاظ تعداد تصادفات، یک قابلیت اطمینان اختصاص می‌یابد. با ترکیب قابلیت اطمینان هر سیستم حمل و قابلیت اطمینان هر

مسیر، میزان قابلیت اطمینان هر سیستم حمل در هر مسیر بدست می آید. مدل بکار گرفته شده در این مقاله، توسعه یافته مدل ارایه شده پاچارل (۲۰۰۸)، است، به طوری که وی در مدل خود، یک سیستم تک دوره ای و تک محصولی با یک نوع سیستم حمل در نظر گرفته است. سیستم مطرح شده در این مقاله، یک نوع شبکه زنجیره تأمین دو مرحله‌ای است و شکل ۱ نمای کلی از این سیستم را نشان می‌دهد.

شکل ۱- شبکه زنجیره تأمین دو مرحله‌ای



فرض‌ها

- هزینه هر واحد کمبود با توجه به نوع مشتری متفاوت است.
- ظرفیت مراکز توزیع محدود است.
- در هر مسیر و در هر دوره باید از یک سیستم حمل ثابت استفاده شود.

اندیس‌ها

i : مراکز تولید ($i = 1, 2, 3, \dots, I$)

j : مراکز توزیع ($j = 1, 2, 3, \dots, J$)

k : مشتریان ($k = 1, 2, 3, \dots, K$)

p : محصولات ($p = 1, 2, 3, \dots, P$)

t : دوره‌ها ($t = 1, 2, 3, \dots, T$)

m : نوع وسایل حمل و نقل ($m = 1, 2, 3, \dots, M$)

پارامترها

PC_{pit} : هزینه تولید هر واحد محصول نوع p توسط کارخانه i در دوره t

AT_{pi} : زمان آماده‌سازی برای تولید محصول نوع p توسط کارخانه i

PT_{pi} : زمان تولید هر واحد محصول نوع p توسط کارخانه i

$Maxt_{it}$: کل زمان در دسترس کارخانه i در دوره t

$CTCX_{ij}^m$: هزینه ثابت حرکت کامیون نوع m از کارخانه i به مرکز توزیع j

$CTVX_{pij}^m$: هزینه حمل هر واحد محصول p با کامیون نوع m از کارخانه i به مرکز

توزیع j

$CTCY_{jk}^m$: هزینه ثابت حرکت کامیون نوع m از مرکز توزیع j به مشتری k

$CTVY_{pjk}^m$: هزینه حمل هر واحد محصول p با کامیون نوع m از مرکز توزیع j به

مشتری k

V_p : حجم هر واحد محصول نوع p

HY_{pj} : هزینه نگهداری پایان دوره هر واحد محصول p در مرکز توزیع j

dem_{pkt} : تقاضای مشتری k از محصول p در دوره t

AC_{pi} : هزینه آماده‌سازی برای تولید محصول p توسط کارخانه i

CS_{pk} : هزینه مواجهه با هر واحد کمبود محصول p در تأمین تقاضای مشتری k

$CAPJ_j$: ظرفیت مرکز توزیع j ام

$CAPT$: ظرفیت هر کامیون بر حسب حجم محصولات

RAI_{ij}^m : قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل نوع m در مسیر i به j

RAJ_{jk}^m : قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل نوع m در مسیر j به k
 R : یک عدد بزرگ

متغیر های تصمیم

PB_{pit} : تعداد تولید از محصول p توسط کارخانه i در دوره t
 PX_{pijt}^m : تعداد محصول p ارسالی با سیستم نوع m از کارخانه i به مرکز توزیع j در دوره t
 PY_{pjkt}^m : تعداد محصول p ارسالی با سیستم نوع m از مرکز توزیع j به مشتری k در دوره t
 IY_{pjt} : میزان موجودی آخر دوره t از محصول p در مرکز توزیع j
 Sh_{pkt} : میزان کمبود بصورت پس‌افت از محصول p برای مشتری k در دوره t
 X_{pit} : اگر محصول p در کارخانه i در دوره t تولید شود، یک و در غیر این صورت صفر است.
 ZX_{ijt}^m : تعداد دفعات حرکت کامیون سیستم نوع m در دوره t از کارخانه i به مرکز توزیع j
 ZY_{jkt}^m : تعداد دفعات حرکت کامیون سیستم نوع m در دوره t از مرکز توزیع j به مشتری k

مدل پیشنهادی

$$Min Z_1 = \sum_{\forall p} \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} (PC_{pit} \cdot PB_{pit} + AC_{pi} \cdot X_{pit}) + \sum_{\forall m} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (CTCX_{ij}^m \cdot ZX_{ijt}^m)$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{\forall p} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (HY_{pj} \cdot IY_{pjt}) \\
 & + \sum_{\forall m} \sum_{\forall p} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (CTVX_{pij}^m \cdot PX_{pijt}^m) \\
 & + \sum_{\forall m} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (CTCY_{jk}^m \cdot ZY_{jkt}^m) \\
 & + \sum_{\forall m} \sum_{\forall p} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (CTVY_{pjk}^m \cdot PY_{pjkt}^m) \\
 & + \sum_{\forall p} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (CS_{pk} \cdot Sh_{pkt}) \\
 Max Z_v = & \sum_{\forall m} \sum_{\forall p} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (RAI_{ij}^m \cdot PX_{pijt}^m) + \sum_{\forall m} \sum_{\forall p} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (RAJ_{jk}^m \cdot PY_{pjkt}^m) \quad (۲)
 \end{aligned}$$

:Subject to

$$\sum_{\forall p} (AT_{pi} + PT_{pi} \cdot PB_{pit}) \cdot X_{pit} \leq Maxt_{it} , \forall i, t \quad (۳)$$

$$\sum_{\forall m} \sum_{\forall j} PX_{pijt}^m = PB_{pit} , \forall p, i, t \quad (۴)$$

$$IY_{pj(t-1)} + \sum_{\forall m} \sum_{\forall i} PX_{pijt}^m - IY_{pjt} - \sum_{\forall m} \sum_{\forall k} PY_{pjkt}^m = 0 , \forall p, j, t \quad (۵)$$

$$\sum_{\forall p} IY_{pjt} \cdot V_p \leq CAPJ_j , \forall j, t \quad (۶)$$

$$PB_{pit} \leq R \cdot X_{pit} , \forall p, i, t \quad (۷)$$

$$\sum_{\forall p} (V_p \cdot PX_{pijt}^m) \leq CAPT \cdot ZX_{ijt}^m , \forall m, i, j, t \quad (۸)$$

$$\sum_{\forall p} (V_p \cdot PY_{pjkt}^m) \leq CAPT \cdot ZY_{jkt}^m , \forall m, j, k, t \quad (۹)$$

$$Sh_{pkt} - Sh_{pk(t-1)} - dem_{pkt} + \sum_{\forall m} \sum_{\forall j} (PY_{pjkt}^m) = 0 , \forall p, k, t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{\forall m} \sum_{\forall j} (PY_{pjkt}^m) - Sh_{pk(T-1)} = dem_{pkT} , \forall p, k \quad (۱۱)$$

$$X_{pit} \in \{0, 1\} \quad (۱۲)$$

تابع هدف (۱)، کمینه سازی هزینه کل است که شامل هزینه تولید، آماده سازی، نگهداری، حمل و کمبود است. تابع هدف (۲)، بیشینه سازی قابلیت اطمینان در حمل محصولات از هر کارخانه به هر مرکز توزیع و از هر مرکز توزیع به هر مشتری است. محدودیت (۳) کنترل زمان تولید و آماده سازی در هر دوره نسبت به کل زمان در دسترس است. محدودیت (۴) نشان می دهد که هر کارخانه در هر دوره، همه محصولات تولیدی خود را به مراکز توزیع مختلف می فرستد. محدودیت (۵) معادله توازن موجودی هر مرکز توزیع است. محدودیت (۶) مقدار موجودی انتهای دوره هر مرکز توزیع را کنترل می کند. محدودیت (۷) مقدار تولید هر محصول توسط هر کارخانه را کنترل می کند. محدودیت های (۸) و (۹) مقدار ظرفیت هر سیستم حمل را کنترل می کنند.

محدودیت (۱۰) مقدار مواجهه با کمبود هر مشتری از هر محصول را نشان می دهد. محدودیت (۱۱) نشان می دهد که تمام تقاضاها باید در پایان دوره آخر برآورده شود. محدودیت (۱۲) نیز متغیر صفر و یک است.

روش حل

در مسائلی که برای مدل پیشنهادی در نظر گرفته می شود، با افزایش اندازه مسأله، زمان حل به شدت افزایش می یابد، به طوری که مسائل بزرگ در این مدل را نمی توان در زمان معقولی با استفاده از روش های دقیق به جواب رساند. ثابت شده است که این گونه مسائل NP-hard هستند (پارک^۲ و همکاران، ۲۰۰۷). معمولاً برای حل این گونه مسأله ها، از روش های فراابتکاری یا ابتکاری استفاده می شود. در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری پیشنهادی بر پایه الگوریتم ژنتیک ارائه نموده و با استفاده از آن به حل مدل می پردازیم.

^۱ NP-hard: Non-deterministic Polynomial-time hard

^۲ Park

روش LP- متریک

برای مسائل چند هدفه، تکنیک‌های مختلفی مانند لکسیکोगرافی، وزن دهی و LP- متریک برای تک هدفه سازی وجود دارد. در این مقاله، ما روش LP- متریک را برای تک هدفه سازی مدل بکار می‌بریم، زیرا این روش یکی از روش‌های معروف و مناسب در بین روش‌های موجود است (مزه و همکاران، ۲۰۱۰ و میرزاپور و همکاران، ۲۰۱۱). روش LP- متریک روی کمینه سازی انحراف هر تابع هدف نسبت به مقدار بهینه آن تمرکز دارد. در این روش مقدار بهینه هر تابع هدف را بدست آورده و در معادله ۱۳ جایگذاری می‌کنیم.

$$LP = \left[\sum_{j=1}^k \gamma_j \left(\frac{f_j^* - f_j}{f_j^*} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (13)$$

f_j و γ_j به ترتیب مقدار و وزن تابع هدف f_j هستند. p یک پارامتر کنترلی با مقدار صحیح بزرگتر از یک است (آپریکویچ و تی‌زننگ، ۲۰۰۴). اگر $p = \infty$ باشد، آنگاه تابع هدف، کمینه بیشترین مقدار انحراف خواهد بود (معادله ۱۴).

$$LP = \min \left\{ \max \left\{ \gamma_1 \left(\frac{f_1^* - f_1}{f_1^*} \right), \gamma_2 \left(\frac{f_2^* - f_2}{f_2^*} \right), \dots, \gamma_k \left(\frac{f_k^* - f_k}{f_k^*} \right) \right\} \right\} \quad (14)$$

در نتیجه مسأله بصورت زیر خواهد شد (معادله‌های ۱۵ و ۱۶).

$$\text{Min} z \quad (15)$$

s.t :

$$z \geq \gamma_j \left(\frac{f_j^* - f_j}{f_j^*} \right), \forall j \quad (16)$$

$$x \in X$$

¹ lexicography

² weighting

³ LP-metric

⁴ Mazdeh

⁵ Mirzapour

⁶ Opricovic and Tzeng,

تابع جریمه

برای کنترل جواب های غیر موجه، یک تابع جریمه استفاده می کنیم که برای جواب های موجه مقدار صفر و برای جواب های غیر موجه یک مقدار مثبت می گیرد. تابع جریمه جواب x ، با توجه به محدودیت $g(x) \leq b$ ، $P(x)$ است و با استفاده از معادله ۱۷ محاسبه می شود (اینیای و انکر ۲۰۰۵).

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

R یک عدد مثبت بزرگ است و مقدار جریمه به مقدار تابع هدف بدست آمده اضافه می شود. با فرض اینکه تابع هدف بدست آمده $f(x)$ باشد، با منظور کردن تابع جریمه، تابع هدف بصورت معادله (۱۸) خواهد بود:

$$\text{Min } Z = f(x) + P(x) \quad (18)$$

الگوریتم ژنتیک رتبه ای پیشنهادی

در مسائلی که برای این مدل پیشنهادی استفاده می کنیم، با افزایش تعداد متغیرهای مسئله، زمان حل آن به شدت افزایش می یابد، بطوریکه مسئله های در اندازه های بزرگ را نمی توان با استفاده از روش های دقیق در زمان قابل قبولی حل کرد.

در چنین شرایطی، هنگامی که روش های بهینه سازی دقیق، قادر به حل مسئله ای نباشند، از الگوریتم های فراابتکاری استفاده می شود. الگوریتم های فراابتکاری معمولاً جواب های مناسب و گاهی نزدیک به بهینه می دهند (هپت-آر و هپت-اس، ۲۰۰۴). الگوریتم ژنتیک (GA) یکی از الگوریتم های فراابتکاری و یک روش بهینه سازی بر مبنای جستجو است که بر پایه قوانین طبیعی ژنتیک ایجاد شده است. GA نخستین بار توسط هلند^۴،

¹ Yeniay and Ankare

² Haupt, R. and Haupt, S.

³ Genetic Algorithm, (GA)

⁴ Holland

(۱۹۷۵) مطرح شد. از جمله مزیت های این الگوریتم این است که هم متغیرهای گسسته و هم پیوسته را پوشش می‌دهد، به طور همزمان سطح وسیعی از جواب های ممکن را بررسی می‌کند. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی خود را که بر پایه GA است، ارایه کرده و تفاوت های آن را با GA کلاسیک نشان می‌دهیم.

الگوریتم ژنتیک رتبه ای (RGA) پیشنهادی در این مقاله به این صورت است که هر ژن نشان دهنده یک مقدار از یک متغیر تصمیم است. یک کروموزوم از مجموعه ای از ژن ها تشکیل می‌شود و نشان گر یک جواب است. یک کروموزوم باید به گونه ای طراحی شود که بتواند دامنه وسیعی از جواب های ممکن را ایجاد کند و همچنین تا حد امکان از ایجاد جواب های غیر موجه جلوگیری شود. RGA در تکرارهای مختلف، مجموعه ای از جواب ها را در نظر گرفته و جمعیت جدید را ایجاد می‌کند. در هر تکرار برخی از بهترین جواب های ایجاد شده در جمعیت قبل، مستقیماً به جمعیت بعد منتقل می‌شوند (نخبه گرایی). با بکارگیری یک مکانیزم انتخاب، دو جواب انتخاب شده و با استفاده از یک عملگر تقاطع به جواب های جدیدی می‌رسیم. سایر جواب ها با استفاده از یک عملگر جهش ایجاد می‌شوند. همین جریان تکرار شده تا شرط توقف برآورده شود.

ما یک استراتژی نخبگی را برای حفظ بهترین جواب ها از جمعیت های قبل استفاده می‌کنیم. با در نظر گرفتن یک نرخ نخبگی، تعداد جواب هایی که مستقیماً به جمعیت بعد می‌روند را مشخص می‌کنیم (معادله ۱۹).

$$N_{popr} = N_{pop} \times P_{re} \quad (19)$$

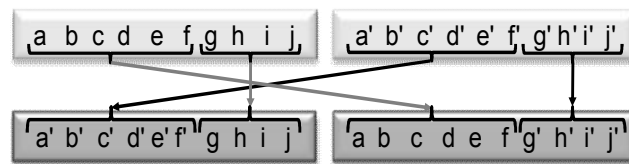
N_{pop} ، تعداد جواب های هر جمعیت، N_{popr} تعداد جواب های بدست آمده از استراتژی نخبه گرایی و P_{re} نرخ نخبگی است.

برای استفاده از عملگر تقاطع به یک مکانیزم انتخاب برای گزینش برخی کروموزوم های جمعیت جاری نیاز است. از آنجا که می‌خواهیم شانس انتخاب جواب های بهتر، بیشتر باشد، از مکانیزم چرخه رولتی استفاده می‌کنیم. تفاوت بارز این روش با GA

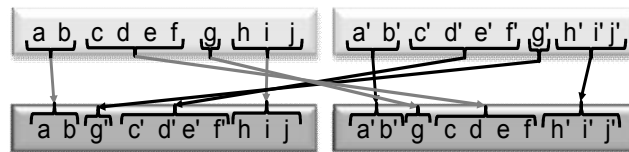
¹ Ranking Genetic Algorithm, (RGA)

² Roulette wheel

کلاسیک در این است که در روش RGA پیشنهادی، چند نوع تقاطع، شامل تقاطع های تک نقطه ای (شکل ۲-الف) و تقاطع های چند نقطه ای (شکل ۲-ب) استفاده می کنیم. هر تقاطع با توجه به مقدار کیفیت جواب آن وزن دهی می شود و با در نظر گرفتن وزن هر تقاطع، رتبه بندی انجام می شود. در ایجاد جمعیت های بعدی تقاطع های با وزن بیشتر، با احتمال بیشتر انتخاب می شوند و تقاطع های با وزن پایین تر شانس کمتری خواهند داشت. بنابراین بهترین تقاطع جمعیت قبل، بیشترین کروموزوم جمعیت بعد را ایجاد خواهد کرد (معادله های ۲۰ و ۲۱).



شکل ۲-الف- نمونه ای از عملگر تقاطع تک نقطه ای



شکل ۲-ب- نمونه ای از عملگر تقاطع چند نقطه ای

$$N_{popci} = N_{pop} \times P_{cr} \times W_i \quad (20)$$

$$\sum_{\forall i} W_i = 1 \quad (21)$$

N_{popci} ، تعداد جواب های بدست آمده از عملگر تقاطع i ام، P_{cr} ، نرخ تقاطع و W_i وزن تقاطع i ام.

بعد از بکارگیری نخبگی و عملگرهای تقاطع، باقیمانده جواب ها از طریق عملگر جهش ایجاد می شوند. در عملگر جهش در GA کلاسیک، ممکن است جواب هایی با تابع تناسب بدتر ایجاد شوند و در واقع یک جهش بد ایجاد شود. در روش پیشنهادی

برای عملگر جهش، از ایجاد چنین جواب‌هایی جلوگیری می‌شود و تنها جهش‌های خوب به جمعیت بعد منتقل می‌شوند. در این روش، ابتدا یک کروموزوم به طور تصادفی با استفاده از چرخه رولتی انتخاب می‌شود، آنگاه یکی از متغیرهای مستقل به طور تصادفی در نظر گرفته شده و مقادیر آن تغییر می‌کند. بعد از تعیین تابع تناسب کروموزوم جهش یافته، اگر مقدار آن از بدترین جواب بدست آمده در جمعیت اخیر بهتر بود، به جمعیت بعد انتقال می‌یابد، در غیر این صورت کروموزوم بدون تغییر باقی می‌ماند. نرخ عملگر جهش و تعداد کروموزوم‌هایی که باید با استفاده از عملگر جهش ایجاد شوند، به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۲۲ و ۲۳ محاسبه می‌شوند.

$$P_{mu} + P_{re} + P_{cr} = 1 \quad (22)$$

$$N_{popm} = N_{pop} \times P_{mu} \quad (23)$$

N_{popm} ، تعداد جواب‌های بدست آمده از عملگر جهش و P_{mu} نرخ جهش است.

۴- تجزیه و تحلیل محاسبات

بعد از تک هدفه سازی مدل، ۷ نوع مسأله در سطح کوچک و ۷ نوع مسأله در سطح بزرگ مطرح شده است. مشخصات هر نوع مسأله به همراه تعداد متغیرهای هر یک، در جدول (۱) آورده شده است. برای تحلیل هر یک از مسائل، مثال‌های عددی در نظر گرفته می‌شود، بطوریکه مقادیر پارامترهای مثال‌های مختلف با توجه به دامنه تعریف شده برای آن‌ها انتخاب می‌شوند (جدول ۲).

مسائل کوچک برای مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار لینگو نسخه ۸/۰ حل شده است. در این حالت در مدت زمان بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ ثانیه، جواب بدست آمده است. ولی در سطح یک از مسائل بزرگ، پس از مدت زمان ۱۰۰۰ ثانیه، نرم افزار جواب موجهی ارائه نداده است. همان طور که می‌دانیم، شاخص زمان حل، یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در

حل مسائل بهینه سازی است، بنابراین برای حل مسائل بزرگ، بهتر است از روش های ابتکاری و فراابتکاری استفاده شود. در این مقاله نیز روش های GA و RGA برای حل این مسائل انتخاب شده است.

جدول ۱- مجموعه مسائل کوچک و بزرگ و تعداد متغیرهای هر مسأله

تعداد متغیرها	دوره زمانی	وسایل حمل	محصول	مشتریان	مراکز توزیع	مراکز تولید	نمونه مسائل	
۲۳۴	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۱	کوچک
۲۴۰	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۲	
۲۷۰	۳	۲	۲	۲	۳	۲	۳	
۲۸۲	۳	۲	۲	۳	۲	۳	۴	
۳۳۰	۳	۲	۲	۳	۳	۲	۵	
۳۳۶	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۶	
۳۹۶	۳	۲	۲	۳	۳	۳	۷	
۱۶۶۵	۵	۳	۳	۴	۳	۴	۱	بزرگ
۲۱۴۵	۵	۳	۳	۵	۴	۳	۲	
۳۵۶۴	۶	۳	۳	۵	۵	۴	۳	
۵۴۵۴	۶	۳	۴	۶	۵	۵	۴	
۶۳۳۵	۷	۳	۴	۷	۵	۴	۵	
۹۰۳۰	۷	۳	۵	۷	۵	۶	۶	
۱۲۱۹۲	۸	۵	۳	۸	۶	۵	۷	

جدول ۲- دامنه مقادیر پارامترها برای مثال های کوچک و بزرگ

توضیحات	دامنه هر پارامتر		پارامترها
	مسائل بزرگ	مسائل کوچک	
بصورت تصادفی تعیین می شوند.	$U\sim[50, 150]$	$U\sim[30, 90]$	$PCpit$
	$U\sim[10, 30]$	$U\sim[5, 20]$	$ATpi$
	$U\sim[5, 20]$	$U\sim[5, 15]$	$PTpi$
	$U\sim[5000, 5500]$	$U\sim[3000, 3500]$	$Maxt_{it}$
	$U\sim[0/3, 2]$	$U\sim[0/5, 1/5]$	VP
	$U\sim[5, 20]$	$U\sim[5, 15]$	$HYpj$
	$U\sim[30, 50]$	$U\sim[40, 60]$	dem_{pkt}
	$U\sim[10, 20]$	$U\sim[10, 15]$	$ACpi$
تعیین می با توجه به نوع وسیله حمل شوند.	$U\sim[30, 170]$	$U\sim[50, 80]$	$CTCX_{ij}^m$
	$U\sim[5, 25]$	$U\sim[5, 10]$	$CTVX_{pij}^m$
	$U\sim[20, 155]$	$U\sim[50, 100]$	$CTCY_{jk}^m$
	$U\sim[5, 25]$	$U\sim[5, 10]$	$CTVY_{pjk}^m$
با توجه به نوع مشتری تعیین می شوند.	$U\sim[3, 25]$	$U\sim[5, 10]$	$CSpk$
بصورت تصادفی تعیین می شوند.	$U\sim[1500, 2500]$	$U\sim[1000, 2000]$	$CAPJj$
	$U\sim[10, 20]$	$U\sim[10, 15]$	$CAPT$
با توجه به نوع هزینه های ثابت و متغیر و نوع وسیله حمل تعیین می شوند.	$U\sim[0/5, 0/95]$	$U\sim[0/6, 0/9]$	RAI_{ij}^m
	$U\sim[0/6, 0/95]$	$U\sim[0/7, 0/9]$	RAJ_{jk}^m

تنظیم پارامتر

قبل از حل مدل، باید پارامترهای هر الگوریتم تنظیم شوند. برای تنظیم پارامترها در مثال های کوچک و بزرگ از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده می کنیم. RSM برای الگوریتم هایی استفاده می شود که مقدار پارامترهای آن ها در جواب های آن الگوریتم ها تأثیر گذار است. با بکارگیری این روش، مقادیر مناسبی برای هر پارامتر

¹ Response Surface Methodology, (RSM)

بدست می آید (مونت گومری، ۲۰۰۴). با توجه به مشخصات ۱۴ مسائل کوچک و بزرگ، مقادیر پارامترهای GA و RGA با استفاده از نرم افزار می نی تب نسخه ۱۶/۱ بدست آمده اند که مقادیر بدست آمده همراه با زمان حل هر یک، در جدول ۳ ارایه شده است. بعد از محاسبه مقدار هر پارامتر، روش های GA و RGA در نرم افزار متلب نسخه ۷/۱۰/۰/۴۹۹ در یک سیستم پنتیوم ۴ با پردازشگر ۲/۸ گیگا هرتز و حافظه ۴ گیگا بایت اجرا شده اند.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای GA و RGA در مسائل کوچک و بزرگ (با استفاده از روش RSM)

زمان حل (ثانیه)	RGA			GA			اندازه مسأله
	Pmu	Pcr	Npop	Pmu	Pcr	Npop	
۵	۰/۰۵	۰/۹۰	۷۲/۸۱	۰/۱۵	۰/۹۰	۱۰۰/۰۰	کوچک
۸	۰/۱۵	۰/۵۰	۷۲/۷۳	۰/۱۵	۰/۹۰	۱۰۰/۰۰	
۱۰	۰/۱۵	۰/۵۰	۷۱/۳۰	۰/۱۵	۰/۹۰	۵۰/۰۰	
۱۲	۰/۱۵	۰/۵۰	۷۸/۷۹	۰/۱۵	۰/۹۰	۵۰/۰۰	
۱۵	۰/۱۵	۰/۵۰	۷۸/۸۰	۰/۰۵	۰/۷۴	۹۵/۴۵	
۱۸	۰/۱۱	۰/۶۳	۹۹/۵۰	۰/۰۵	۰/۷۰	۱۰۰/۰۰	
۲۰	۰/۱۰	۰/۶۵	۱۰۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۵۰	۱۰۰/۰۰	
۴۰	۰/۱۴	۰/۸۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۵۰	۱۵۰/۵۱	بزرگ
۸۰	۰/۱۵	۰/۷۳	۱۰۴/۰۴	۰/۱۵	۰/۷۸	۱۳۶/۳۷	
۱۳۰	۰/۰۵	۰/۶۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۵۰	۱۸۲/۸۳	
۲۰۰	۰/۰۵	۰/۷۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۶۰	۱۵۲/۵۳	
۲۳۰	۰/۰۵	۰/۶۹	۱۰۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۶۱	۱۶۴/۶۵	
۳۰۰	۰/۰۵	۰/۸۵	۱۷۳/۷۴	۰/۱۱	۰/۶۷	۲۰۰/۰۰	
۳۵۰	۰/۰۵	۰/۷۲	۲۰۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۶۵	۲۰۰/۰۰	

¹ Montgomery

² MINITAB

³ MATLAB

مقایسه الگوریتم های GA و RGA

در این مقاله، برای مقایسه نتایج بدست آمده از دو الگوریتم GA و RGA، از روش RPD استفاده شده است (نادری و همکاران، ۲۰۰۹). معادله های ۲۴ و ۲۵ به ترتیب برای توابع کمینه‌سازی و بیشینه‌سازی است.

$$RPD = \frac{Alg - Min}{Min} \times 100 \quad (24)$$

$$RPD = \frac{Max - Alg}{Max} \times 100 \quad (25)$$

Min ، بهترین جواب بدست آمده برای یک تابع هدف کمینه‌سازی در حالت تک هدفه، Alg ، مقدار تابع هدف بدست آمده با استفاده از یک الگوریتم در حالت چند هدفه، Max ، بهترین جواب بدست آمده برای یک تابع هدف بیشینه‌سازی در حالت تک هدفه.

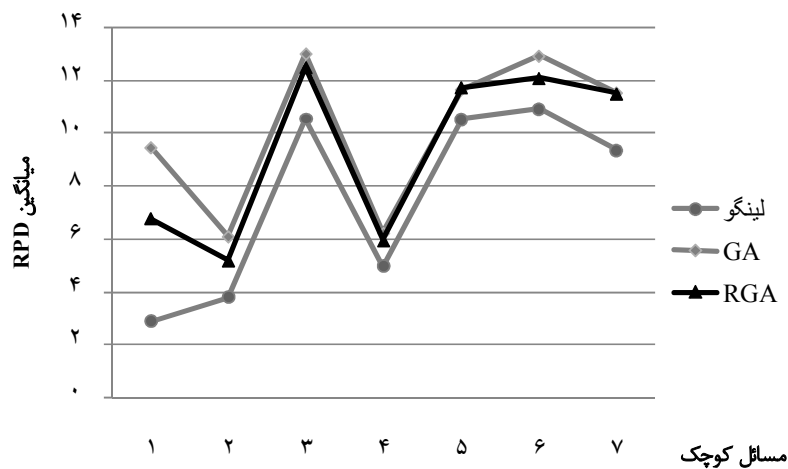
مقدار میانگین جواب های بدست آمده به ازای بکارگیری الگوریتم های GA و RGA در مسائل کوچک و بزرگ به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارایه شده است. Z_1 و Z_2 به ترتیب، مقادیر بدست آمده از توابع کمینه‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان به ازای هر مسأله است. برای مقایسه دو روش GA و RGA، مقادیر RPD بدست آمده از هر الگوریتم بازای ۱۰ نمونه گرفته شده برای هر یک از مسائل کوچک و بزرگ به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴- نتایج جواب های بدست آمده بازای الگوریتم های GA و RGA برای مسائل کوچک

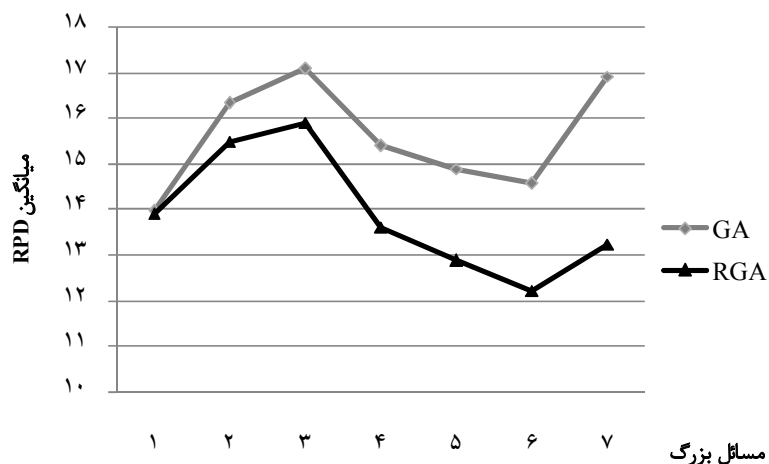
RGA		GA		لینگو		نمونه مسأله
Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	
۱۱۲۸/۱	۲۳۳۲۷/۲	۱۱۲۷/۵	۲۵۰۶۵/۶	۱۱۶۶/۴۰	۲۲۶۵۰/۰	۱
۷۴۶/۱	۱۸۲۸۸/۰	۷۴۴/۵	۱۸۷۵۵/۷	۷۸۱/۷	۱۸۳۸۵/۴	۲
۷۹۰/۱	۱۷۶۵۰/۳	۷۸۶/۲	۱۷۷۸۲/۱	۸۰۱/۷	۱۷۳۴۰/۲	۳
۱۱۵۳/۱	۲۷۵۱۶/۶	۱۱۴۸/۵	۲۷۶۰۶/۷	۱۱۵۵/۱	۲۷۰۸۶/۹	۴
۱۲۰۸/۱	۲۹۵۳۱/۱	۱۲۰۱/۰	۳۰۰۵۷/۴	۱۲۱۷/۱	۲۹۷۲۰/۷	۵
۷۹۰/۴	۱۹۳۹۶/۰	۷۸۷/۹	۲۰۳۸۶/۲	۷۸۶/۲	۱۹۰۴۹/۷	۶
۱۱۴۹/۰	۲۷۹۰۵/۸	۱۱۴۵/۰	۲۸۱۱۵/۱	۱۱۵۱/۴	۲۶۸۸۴/۰	۷
۹۹۵/۰	۲۳۳۷۳/۵	۹۹۱/۵	۲۳۹۶۶/۹	۱۰۰۸/۵۱	۲۳۰۱۶/۷	میانگین

جدول ۵- نتایج جواب های بدست آمده بازای الگوریتم های GA و RGA برای مسائل بزرگ

RGA		GA		لینگو		نمونه مسأله
Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	
۱۷۷۳/۴	۶۵۷۸۷/۶	۱۷۹۹/۴	۶۶۵۹۶/۲	-	-	۱
۲۲۱۰/۸	۷۷۵۴۶/۸	۲۲۰۱/۰	۷۸۳۴۲/۶	-	-	۲
۲۵۳۸/۲	۹۹۰۷۱/۶	۲۵۱۹/۴	۱۰۰۵۲۳/۰	-	-	۳
۴۰۶۴/۸	۱۶۵۳۴۸/۲	۴۰۵۹/۸	۱۷۱۶۲۰/۲	-	-	۴
۵۴۹۳/۸	۲۱۴۵۲۷/۴	۵۴۴۹/۴	۲۳۱۶۲۱/۰	-	-	۵
۶۸۳۵/۰	۳۰۱۶۱۰/۸	۶۸۱۰/۲	۳۱۳۲۶۶/۸	-	-	۶
۹۸۵۶/۶	۴۵۹۶۳۲/۰	۹۸۳۰/۶	۴۷۱۷۶۸/۱	-	-	۷
۴۶۸۱/۸	۱۹۷۶۴۶/۳	۴۶۶۷/۱	۲۰۴۸۱۹/۷	-	-	میانگین



شکل ۳-مقایسه دو روش GA و RGA بر اساس میانگین RPD (مسائل کوچک)



شکل ۴-مقایسه دو روش GA و RGA بر اساس میانگین RPD (مسائل بزرگ)

با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۴ و مقادیر میانگین RPD، در مسائل کوچک، الگوریتم RGA دارای برتری کمی نسبت به GA است و همین مطلب را می‌توان در شکل ۳ نیز مشاهده کرد. اما در مسائل بزرگ با توجه به جدول ۵ و همچنین شکل ۴ به وضوح می‌توان

مشاهده کرد که با افزایش اندازه مسأله، برتری RGA نسبت به GA چشم گیرتر بوده است. برای اطمینان از معنادار بودن مقایسه این دو الگوریتم، از تحلیل واریانس استفاده می کنیم. نتایج بدست آمده با استفاده از روش تحلیل واریانس (ANOVA) با سطح اطمینان ۹۵٪ با نرم افزار می نی تب تحلیل شده اند. قبل از بکارگیری ANOVA، فرض های نرمال بودن و برابری واریانس ها بررسی شده است. نتایج آزمون، یک تفاوت معنادار بین مقادیر RPD بدست آمده از دو الگوریتم را نشان می دهد، به طوری که P-مقدار هم در مسائل کوچک و هم بزرگ نزدیک به صفر بوده است.

نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله، یک سیستم تولید-توزیع دو هدفه با مراکز تولید و مراکز توزیع چندگانه در حالت چند محصولی و چند دوره ای ارائه شده است. در طراحی این سیستم، مشتریان با توجه به هزینه مواجه با کمبود آن ها، اولویت بندی می شوند، به طوری که ابتدا تقاضای مشتریان با اولویت بالاتر برآورده می شود. چند نوع سیستم حمل برای جابجایی محصولات فرض می شود، بطوری که سیستم های حمل با توجه به هزینه بکارگیری آن ها دارای قابلیت اطمینان متفاوتی هستند. برای این سیستم یک مدل چند هدفه عدد صحیح ترکیباتی ارائه شد. برای نشان دادن کارایی مدل، مثال هایی در چهارده سطح (۷ نوع کوچک و ۷ نوع بزرگ) مطرح شده است. مثال های بزرگ در مدل پیشنهادی با استفاده از روش های قطعی در یک مدت زمان مناسب، قابل حل نیستند. به همین دلیل از الگوریتم های ابتکاری استفاده شده است. در این مقاله یک الگوریتم بر پایه ژنتیک با نام RGA پیشنهاد شد. این روش با بکارگیری مسائل متعدد در ابعاد گوناگون با روش GA مقایسه شد.

نتایج بدست آمده، نشان می دهند که روش RGA پیشنهادی نسبت به GA جواب های بهتری می دهد و این برتری در مثال های بزرگ چشم گیرتر از مثال های کوچک بوده است. با توجه به مطالعاتی که در زمینه سیستم های تولید-توزیع انجام شده است، در مدل های چند هدفه در حالت چند تولید کننده، قابلیت اطمینان برای سیستم های حمل و نقل به

¹ Analysis of Variance, (ANOVA)

صورت یک تابع هدف و همچنین اولویت بندی مشتریان برای تأمین تقاضاهای آن‌ها کمتر مورد توجه بوده است که در مدل ارائه شده در این مقاله بیشتر بدان‌ها پرداخته شده است. ارائه یک الگوریتم ابتکاری و کارا در حل مسائل NP-hard بر پایه GA را می‌توان از دیگر جنبه‌های نوآوری این مقاله دانست.

مهم‌ترین کاربرد این مدل در سیستم‌هایی است که کالاهای حساس و آسیب‌پذیر تولید می‌کنند، به طوری که نوع سیستم حمل در انتقال محصولات از مراکز تولید به مراکز توزیع و همچنین از مراکز توزیع به مشتریان، تأثیر مستقیمی روی میزان خسارات و همچنین زمان تحویل محصولات دارد. با بکارگیری این مدل، با بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل، میزان خسارات ناشی از حمل و زمان تحویل محصولات نیز کمینه می‌شود. این مدل، در سیستم‌هایی که برای انتقال محصولات بین حلقه‌های زنجیره، تنها به یک سیستم حمل دسترسی دارند، مناسب نیست، زیرا یکی از شرایط مهم در پیاده‌سازی این مدل، چندانکه بودن سیستم‌های حمل محصولات است.

بکارگیری یک الگوریتم ابتکاری یا فرا ابتکاری دیگر برای حل مدل پیشنهادی و همچنین اضافه کردن حلقه تأمین‌کنندگان به شبکه تولید- توزیع ارائه شده، می‌تواند از تحقیقات آتی در این مقاله باشد.

منابع

- Aliev, R.A., Fazlollahi, B., Guirimov, B.G., Aliev, R.R. (2007). "Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management", *International Journal of Information Sciences*, 177, pp. 4241–4255.
- Amorim, P., Gunther, H.O., Almada-Lobo, B. (2012). "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products", *International Journal of Production Economics*, 138 (1), pp. 89-101 .
- Archetti, C., Bertazzi, L., Paletta, G., Speranza, M.G. (2011). "Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system", *International Journal of Computers & Operations Research*, 38, pp. 1731-1746.
- Armentano, V.A., Shiguemoto, A.L., Lokketangen, A. (2011). "Tabu search with path relinking for an integrated production-distribution problem", *International Journal of Computers and Operations Research*, 38, pp. 1199–1209 .
- Boudia, M., Prins, C. (2009). "A memetic algorithm with dynamic population management for an integrated production-distribution problem", *European Journal of Operational Research*, 195, pp.703–715.
- Fahimnia, B., Zanjirani Farahani, R., Marian, R., Luong, L. (2013). "A review and critique on integrated production-distribution planning models and techniques", *Journal of Manufacturing Systems*, 32 (1), pp. 1-19 .
- Haupt, R.L., Haupt, S.E. (2004). "Practical Genetic Algorithm (Second Edition)", A Wiley-Inter science publication.
- Holland, J. H. (1975). "Adaptation in Natural and Artificial Systems". Ann Arbor: University of Michigan Press .
- Jolai, F., Razmi, J., Rostami, N.K.M. (2010). "A fuzzy goal programming and meta heuristic algorithms for solving integrated production-distribution planning problem", *CEJOR*, (DOI: 10.1007/s10100-010-0144-9).
- Kazemi, A., Fazel Zarandi, M.H., Moattar Husseini, S.M. (2009). "A multi-agent system to solve the production distribution planning problem for a supply chain: a genetic algorithm approach", *International Journal of Manufacturing Technology*, 44, pp. 180-193.
- Keskin, B.B., Uster, H. (2007). "Meta-heuristic approaches with memory and evolution for a multi-product production-distribution system design problem", *European Journal of Operational Research*, 182, pp. 663–682.

- Lee, S., Kim, D. (2014). "An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production-distribution model with both deteriorating and defective items", *International Journal of Production Economics*, 147, pp. 161-170 .
- Leung, J.Y.T., Zhi.Long C. (2013). "Integrated production and distribution with fixed delivery departure dates", *Operations Research Letters*, 41 (3), pp. 290-293.
- LINGO, Release, 8.0., 1415 North Dayton street Chicago, America.
- MATLAB, Version, 7.10.0.499, R 2010, a. Math work products, U.S.A.
- Mazdeh, M., Zaerpour, F., Zareei, A., Hajinezhad, A. (2010). "Parallel machines scheduling to minimize job tardiness and machine deteriorating cost with deteriorating jobs", *Applied Mathematical Modeling*, 34, pp. 1498–1510.
- MINITAB, Release, 16.1.1., LEAD Technologies, Inc., America.
- Mirzapour, S.M.J., Al-e-hashem, Malekly, H., Aryanezhad, M.B. (2011). "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, CEJOR, (DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.01.027.)
- Montgomery, D.C. (2004). *Response Surface Methodology*, New York, Wiley.
- Naderi, B., Zandieh, M., Khaleghi Ghoshe Balagh, A., Roshanaei, V. (2009). "An improved simulated annealing for hybrid flow shops with sequence-dependent setup and transportation times to minimize total completion time and total tardiness", *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 9625–9633.
- Opricovic, S., Tzeng, G.H. (2004). "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156, pp. 445–455.
- Park, B., Choi, H., Kang, M. (2007). "Integration of production and distribution planning using a genetic algorithm in supply chain management". In: Melin, P., Castillo, O., Ramirez, EG., Kacprzyk, J., Pedrycz, W., *soft computing techniques*. Berlin: Springer, pp. 416–426.
- Pokharel, Sh. (2008). "A two objective model for decision making in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, 111, pp. 378-388.
- Sakall, U.S. (2010). A note on "fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain", *International Journal of Computers and Industrial Engineering*, 59, pp. 1010–1012.

Simchi-Levi, D., Kaminski, P., Simchi-Levi, E. (2004). "Managing the Supply Chain", New York, McGraw-Hill.

Varthanan, P.A., Murugan, N., Mohan Kumar, G. (2013). "An AHP based heuristic DPSO algorithm for generating multi criteria production-distribution plan", Journal of Manufacturing Systems, 32 (4), pp. 632-647.

Yeniay, O., Ankare, B. (2005). "Penalty function methods for constrained optimization with genetic algorithms", Mathematical and computational application, 10, pp. 45-56.