چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱- بهار ۱۳۹۰
ص‌ص ۹۴-۷۹

ارائه یک مدل‌کنترل موجودی دوسطحی (R,Q) و حل آن با الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری

زهرا رضایی صدرآبادی*، داود طالبی**

چکیده

در این مقاله، یک مدل کنترل موجودی برای سیستم دو سطحی ارائه شده است که سیاست (R,Q) را در هر سطح برایIHP هر قطعه یدکی غیر تعمیری استفاده می‌کند، که دارای فرضیاتی است که کاربرد آن را در شرایط واقعی محدود می‌کند. این تحقیق با فرض گسسته بودن سفارشات و محدودیت فضای انبار، این مدل را توسعه وکاربرد آن را افزایش داده است.در شرایطی جدید، مدل‌سازی صورت گرفت و سپس برای حل مدل به دست آمده، الگوریتمهای فوق ابتکاری ژنتیک(GA) ورقابت استعماری (ICA) توسعه و تطبیق داده شدند. همچنین با مقایسه عملکرد دو الگوریتم، کارایی آنها ارزیابی شده است.

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی موجودی، سیتم چندسطحی، الگوریتم‌های فوق ابتکاری، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۲/۷ ، تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۱/۱۷.

* کارشناس ارشد مدیریت صنعتی،دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.(نویسنده مسئول).
E-mail:Arezoo_Rezaey@yahoo.com

** عضو هیأت علمی دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.

مقدمه

مفهوم مدیریت راهبردی منابع انسانی با توسعۀ همزمان دو مدل در دانشکده بازرگانی در شبکه‌های عرضه بزرگ، هزاران واحد موجودی با نقاط نگهداری موجودی(IHP) متفاوت نگهداری می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از یک سیستم متمرکز مدیریت و کنترل موجودی، بهبود شگرفی را برای کل شبکه عرضه به دنبال خواهد داشت. در مدل‌های موجودی چند سطحی، تعداد سطوح و سیستم کنترل موجودی متنوعی را می‌توان در نظر گرفت. بیشتر این مدل‌ها فرضیات و خصوصیات خودشان را دارند که هر کدام برای شبکه عرضه خاصی هستند و فقط برای همان شبکه یا شبکه‌های مشابه کاربرد دارند. از این رو، مدل سازی سیستم‌های چندسطحی هنوز یک حوزه تحقیقی قوی است[۱] . به همین دلیل، برای استفاده بهتر از نتایج مدل‌های موجودی چندسطحی، باید این مدل‌ها را از جنبه‌های متفاوت توسعه داد.

با توجه به اهمیت موضوع مدیریت موجودی‌ها و جایگاه آن در صنایع مختلف، برای اینکه مدل‌ها با شرایط دنیای واقعی سازگار و به آن نزدیک شوند، باید آنها را توسعه و فرضیات محدودکننده آنها را کاهش دهیم. در این تحقیق، می‌خواهیم یک مدل سیستم موجودی دوسطحی را توسعه بدهیم که سیاست‌های R)،(Q را درهر سطح برایIHP هر قطعه یدکی غیر تعمیری استفاده کرده وسیستم مدیریت موجودی را متمرکز در نظر گرفته است و با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری برای منیمم کردن سرمایه‌گذاری موجودی کل سالانه هر دو سطح با محدودیت های فراوانی سفارش و میانگین تعداد برگشت‌ها، حل شده است.

یکی از محدودیت‌هایی که در دنیای واقعی وجود دارد، محدودیت فضای انبار است که در این تحقیق به مدل اضافه می‌شود. در شرایطی جدید، مدل‌سازی صورت می‌گیرد و برای حل مدل به دست آمده، الگوریتمهای فوق ابتکاری ژنتیک (GA) و رقابت استعماری (ICA) توسعه و تطبیق داده می‌شوند و سپس حل آن انجام می‌شود. همچنین از طریق تجزیه و تحلیل و مقایسه آماری نتایج حاصل از دو روش، کارایی الگوریتم‌های توسعه داده شده ارزیابی می‌شود.

پیشینه تحقیق

یکی از مهم‌ترین مدل‌های موجودی چندسطحی در مدیریت قطعات یدکی، مدل متریک است. که «شربوروک» آن را برای قطعات قابل تعمیر معرفی کرد [11]. بعد از آن، دایز و فیو[6]

گریوز [7] و ساجلر [4] مدل‌های موجودی متعددی را برای قطعات یدکی قابل تعمیر، گران و کم‌تقاضا عرضه کرد.

هوپ، یک مکان تکی را معرفی نمود که از سیاست(R، Q) استفاده می‌کرد و سه روش ابتکاری برای حل مدل ارائه داد[8]. او همچنین یک سیستم موجودی دو سطحی با تابع هدف کمینه کردن میانگین کل سرمایه‌گذاری موجودی در کل سیستم را ارائه داد[10]. «هوپ و اسپیرمن» یک مدل برگشت سفارش چند محصولی با فرض زمان انتظار ثابت را مدل سازی کردند و برای حل آن، یک الگوریتم بهینه‌سازی ابتکاری ارائه دادند[9].

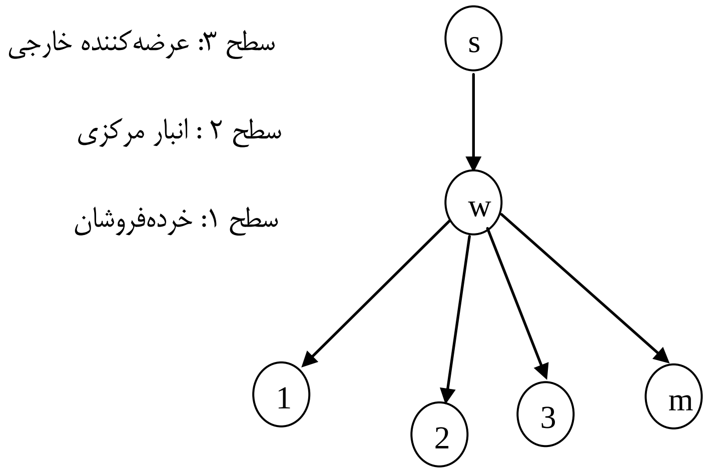
«اندرسون و مارک» لاند یک مدل کنترل موجودی برای یک سیستم دو سطحی را ارائه کردند که هدف از آن، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در موجودی و در عین حال، باقی ماندن خدمت رسانی به مشتریان در سطح بالا بود [2].

«الریفایا و روستی» یک سیستم موجودی دوسطحی را برای قطعات یدکی غیرقابل تعمیر ارائه کردند، آن را مدل‌سازی و سپس با یک روش ابتکاری حل کردند. این مسئله با هدف منیمم کردن سرمایه‌گذاری موجودی کل هر دو سطح با محدودیت‌های فراوانی سفارش و میانگین تعداد برگشت‌ها، مدل‌سازی شده است.

در ادامه، ابتدا موجودی تعریف و جزئیات مربوط به آن مطرح می‌شود. سپس مدل‌سازی ریاضی مسأله ارائه می‌گردد و در نهایت، الگوریتم‌های حل مدل توضیح داده می‌شود.

تعریف مسأله

در این پژوهش، با توجه به تحقیقات قبلی،یک سیستم موجودی دو سطحی که سیستم مرور دائم با توجه به مقدار اقتصادی سفارش،(R، Q) برای هر سطح به کار می برد، مدل سازی شده است.شکل۱، یک سیستم موجودی دوسطحی را نشان می‌دهد که در آن، یک عرضه‌کننده خارجی وجود دارد که می‌تواند هر قلم کالا را در یک زمان انتظار معین عرضه کند و یک انبار واحد که می‌تواند به هر تعداد خرده‌فروش مستقل عرضه داشته باشد. عملکرد سیستم موجودی دوسطحی (R،Q) به این گونه است: زمانی که یک خرده‌فروش با تقاضا روبه‌رو می‌شود، اگر تقاضا کمتر یا مساوی با موجودی در دسترس او باشد، از طریق آن موجودی تأمین می‌شود، ولی اگر تقاضا بیشتر باشد، برگشت داده می‌شود.



شکل ۱

بر اساس سیاست سیستم موجودی R)،(Q، اگر مقدار موجودی، کمتر از نقطه مجدد سفارش (R) یا مساوی آن باشد، درخواست سفارش پرسازی مجدد به اندازه Q به انبار مرکزی داده می‌شود. پس از آن تا دریافت سفارش، یک زمان انتظار وجود دارد. بعد از دریافت سفارش پرسازی مجدد، برگشت‌های عقب افتاده در خرده‌فروشی‌ها بر طبق سیاست اولین خروجی از اولین ورودی (FiFo) سریعاً تأمین می‌شوند. رویه مشابهی نیز برای انبار به کار می‌رود.

پیش از مدل‌سازی، فرضیات زیر را در نظر گرفته شدند:

۱. یک سیستم موجودی دوسطحی را مدل سازی کردیم که در آن، هر خرده‌فروش فقط با یک انبار مرکزی در ارتباط است.
۲. فرایند تقاضا در هر خرده‌فروشی بر اساس فرایند پواسون است.
۳. همه سفارش‌هایی که از موجودی در دسترس تامین نشود، برگشت داده می‌شود. (فروش از دست رفته در نظر گرفته می‌شود.)
۴. عرضه‌کننده، انباری با ظرفیت نامحدود و زمان انتظار ثابت دارد.
۵. عرضه کالا توسط انبار، به دلیل محدودیت فضا، محدود است.
۶. هیچ گونه ارتباط افقی بین خرده‌فروشان مجاز نیست.
۷. همه خرده‌فروشان، یکسان و مشابه در نظر گرفته می‌شوند.

بر اساس این سیستم، خرده‌فروشان را یکسان در نظر گرفتیم که با تقاضایی مبتنی بر فرایند پواسون مواجه هستند. به همین دلیل، فرایند تقاضای انبار، تکراری است و توزیع زمان ورودی تقاضاها برای انبار، به صورت ارلنگ با مشخصات Q_{ri} و λ_{ri} در نظر گرفته شده است.

مدل‌سازی مسأله

با توجه به چارچوب مسأله و ویژگی‌های آن، برای مدل‌سازی می‌توان از مدل ارائه شده توسط «الریفایا و روستی» استفاده نمود و آن را برای مسأله موجود توسعه داد، زیرا هر دو مدل در شرایط تولید هستند، با این تفاوت که در مدل ارائه شده، محدودیت فضای انبار وجود ندارد و مقدار سفارش‌ها و نقطه سفارش پیوسته درنظر گرفته شده است، ولی در مساله مورد بررسی در این تحقیق فرض شده است که مقادیر متغیرها گسسته است و محدودیت فضای انبار هم وجود دارد .

پارامترها و متغیرهای مسأله

با توجه به تعریف مساله و شرایط آن، در مدل‌سازی آن، پارامترها و متغیرهای زیر استفاده شده است:

نمایه‌ها:

w : انبار

r : خرده‌فروش

i : کالا

متغیرها:

Q_{ri}: مقدار سفارش کالای i توسط خرده‌فروش

Q_{wi}:مقدار سفارش کالای i توسط انبار به واحد Q_{ri}

R_{ri}: نقطه مجدد سفارش کالای i در خرده‌فروش

R_{wi}: نقطه مجدد سفارش کالای i توسط انبار به واحد Q_{ri}

پارامترها:

m: تعداد خرده‌فروشان

N: تعداد کالاها

F_r:مقدار فراوانی سفارش مورد نظر در خرده‌فروشی

F_w: مقدار فراوانی سفارش مورد نظر در انبار

B_r: تعداد برگشت سفارش‌های مورد نظر در خرده‌فروشی

B_w: تعداد برگشت سفارش‌های مورد نظر در انبار

λ_{ri}: نرخ تقاضای کالای i در خرده‌فروشی r (واحد در سال)

λ_{wi}: نرخ تقاضای کالای i در انبار (به واحد Q_{ri} در سال)

L_{ri}: مدت زمان انتظار برای دریافت کالای i در خرده‌فروشی r

L_{wi}: مدت زمان انتظار برای دریافت کالای i در انبار

l_{ri}: مدت زمان انتظار موثر در خرده‌فروشی r

C: کل هزینه سرمایه‌گذاری موجودی هر دو سطح در سال

C_r: کل هزینه سرمایه‌گذاری موجودی همه خرده‌فروشان در سال

c_i: هزینه هر کالای i

$\bar{I}_{ri}$: مقدار مورد انتظار از موجودی در دسترس کالای i در خرده‌فروشی r

$\bar{I}_{wi}$: مقدار مورد انتظار از موجودی در دسترس کالای i در انبار

$\bar{B}_{ri}$: مقدار مورد انتظار از برگشت سفارش‌های کالای i در خرده‌فروشی r

$\bar{B}_{wi}$: مقدار مورد انتظار از برگشت سفارش‌های کالای i در انبار

$\emptyset(x)$: تابع توزیع فراوانی نسبی نرمال استاندارد

$\Phi(x)$: تابع توزیع فراوانی تجمعی نرمال استاندارد

F_{ri}: میانگین فراوانی سفارش کالای i در خرده‌فروشی r

F_{wi}: میانگین فراوانی سفارش کالای i در انبار

S_w: حداکثر فضای موجود انبار

S_i: فضای اشغال شده توسط هر کالای i

در این مسأله، خرده‌فروشان یکسان و مشابه فرض شده‌اند و با هدف کاهش کل هزینه سالانه سرمایه‌گذاری موجودی در هر دو سطح با محدودیت‌های میانگین فراوانی سفارش سالانه، میانگین تعداد برگشت از سفارشات وفضای انبار و فرض گسسته بودن متغیرها مدل‌سازی شده است.

محاسبه هزینه کل سرمایه‌گذاری

هزینه کل سرمایه‌گذاری سالانه برای تمامی محصولات را می‌توان به صورت رابطه (۱) بیان کرد. هزینه کل هر سطح، به طور جداگانه، در رابطه‌های (۲) و (۳) بیان شده است. در ادامه، اجزای معادله‌ها معرفی و معادلات ریاضی آنها ارائه می‌گردد. هزینه کل سرمایه‌گذاری در هر دو سطح عبارتست با هزینه کل سرمایه‌گذاری در خرده‌فروشی‌ها به علاوه هزینه کل سرمایه‌گذاری در انبار.

$$C= m\sum_{i=1}^{N} c_i \bar{I}_{ir} + \sum_{i=1}^{N} c_i Q_{ri} \bar{I}_{wi} \qquad (۱)$$

محاسبه مقدار مورد انتظار از موجودی در دسترس $\bar{I}_i$) بر اساس سیستم (R,Q) موجودی در دسترس برای هر کالا در هر موقعیت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{I}_i = \bar{B}_i + R_i + \frac{Q_i+1}{2} - E[D_i] \qquad (۲)$$

که در آن، $E[D_i]$ مقدار تقاضای کالای i درمدت زمان انتظار. برای محاسبه $E[D_{ri}]$، فرایند تقاضا برای هر کالا در هر خرده‌فروشی، یک فرایند پواسون با نرخ سالانه λ_{ri} فرض شده است. بنابراین:

$$E[D_{ir}] = \lambda_{ri} \times l_{ri} \qquad (۳)$$

$$l_{ri} = L_{ri} + d_{ri} \qquad (۴)$$

در محاسبه زمان انتظار، مدت زمان سفارش‌دهی، ناچیز و مدت زمان حمل، معین فرض شده است. همچنین فرض شده است که تاخیر در سفارش‌دهی خرده‌فروش‌ها به دلیل کمبود فضای انبار است مدت زمان تأخیر از فرمول زیر به دست می‌آید[5]:

$$d_{ri} = \frac{\bar{B}_{wi}}{\lambda_{wi}} \qquad (۵)$$

فرایند تقاضا در انبار، تحت تأثیر فرایند سفارش‌دهی کل خرده‌فروشان است. بنابراین، فراوانی سفارش کالای i در خرده‌فروشی r با تقسیم نرخ تقاضای کالای i بر مقدار سفارش آن به دست می‌آید:

$$F_{ri} = \frac{\lambda_{ri}}{Q_{ri}} \quad (۶)$$

طبق فرض یکسان بودن خرده‌فروشان، نرخ تقاضای انبار، λ_{wi}، به این صورت به دست می‌آید:

$$\lambda_{wi} = mF_{ri} = m\frac{\lambda_{ri}}{Q_{ri}} \quad (۷)$$

برای محاسبه $E[D_{wi}]$، میانگین و انحراف معیار تقاضای انبار در زمان انتظار، با در نظر گرفتن فرض خرده‌فروشان، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E[D_{wi}] = \lambda_{wi}L_{wi} = \frac{m\lambda_{ri}L_{wi}}{Q_{ri}} \quad (۸)$$

محاسبه میانگین برگشت سفارش ($\overline{\boldsymbol{B}}_{\mathbf{i}}$) برگشت سفارش زمانی رخ می‌دهد که تقاضا بیشتر از موجودی در دسترس باشد. با توجه به سیاست (R,Q)، تعداد برگشت سفارش کالای i طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{B}_i(R_i, Q_i) = \frac{1}{Q_i}[\beta(R_i) - \beta(R_i + Q_i)] \quad (۹)$$

که مقدار $\beta(x)$ در آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta(x) = \frac{\sigma^2}{2}\{(z^2+1)[1 - \Phi(z)] - z\phi(z)\}$$

$$z = \frac{(x-\theta)}{\sigma} \quad (۱۰)$$

که در آن، θ و σ ، به ترتیب ،میانگین و انحراف معیار تقاضا در زمان انتظار است[12].

کل هزینه سالانه سرمایه‌گذاری موجودی حال براساس روابط (۴) تا (۹)، کل هزینه سالانه تمام محصولات را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی(۱۱) بدست آورد.

$$C = m\sum_{i=1}^{N} c_i \bar{I}_{ir} + \sum_{i=1}^{N} \mathrm{c_i Q_{ri} \bar{I}_{wi}}$$
$$= m\sum_{i=1}^{N} c_i(\bar{B}_{ri} + R_{ri} + \frac{Q_{ri}+1}{2} - \lambda_{ri} \times (L_{ri} + \frac{Q_{ri}\ \bar{B}_{wi}}{m\lambda_{ri}})) +$$
$$\sum_{i=1}^{N} \mathrm{c_i Q_{ri}} \times (\bar{B}_{wi} + R_{wi} + \frac{Q_{wi}+1}{2} \frac{\lambda_{ri} L_{ri} m}{Q_{ri}}) \qquad (۱۱)$$

فرموله‌کردن مساله

برای فرموله کردن مسأله باید توجه داشت که پرسش اساسی آن است که مقادیر سفارش و نقطه مجدد سفارش چگونه باشد تا هزینه کل سرمایه‌گذاری (۱۱) حداقل شود و محدودیت‌های مسئله نیز ارضا شوند.

$$Minimize\ C = m\sum_{i=1}^{N} c_i(\bar{B}_{ri} + R_{ri} + \frac{Q_{ri}+1}{2} - \lambda_{ri} \times (L_{ri} + \frac{Q_{ri}\ \bar{B}_{wi}}{m\lambda_{ri}})) + \sum_{i=1}^{N} \mathrm{c_i Q_{ri}} \times (\bar{B}_{wi} + R_{wi} + \frac{Q_{wi}+1}{2} - \frac{\lambda_{ri} L_{wi} m}{Q_{ri}})$$

St.:

$$\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \frac{\lambda_{wi}}{Q_{wi}} \leq \mathrm{F_w} \qquad \Rightarrow \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \frac{m\lambda_{ri}}{Q_{wi}Q_{ri}} \leq \mathrm{F_w}$$

$$\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \frac{\lambda_{ri}}{Q_{ri}} \leq \mathrm{F_r}$$

$$\sum_{i=1}^{N} \bar{B}_{wi} \leq B_w$$

$$\sum_{i=1}^{N} \bar{B}_{wi} \leq B_w$$

$$\sum_{i=1}^{N} s_i \leq S_w$$

$$R_{ri} \geq -Q_{ri}$$
$$R_{wi} \geq -Q_{wi}$$

$$Q_{ri} \geq 1$$
$$Q_{wi} \geq 1$$
$$Q_{ri}, R_{ri} Q_{wi} و R_{wi} \quad i= 1،2،3\ldots \text{عدد صحیح} \qquad (۱۲)$$

الگوریتم‌های حل

برای حل این مدل، دو رویکرد فرا ابتکاری متفاوت ایجاد شده است:

۱. ۱ـ رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک.
۲. ۲ـ رویکرد مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری.

هر دو الگوریتم، در محیط برنامه‌نویسی مطلب ای آرکدنویسی شده‌اند. به دلیل اینکه الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم جدیدی است، مراحل اجرای آن توضیح داده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

با غربالگری پارامترهای مؤثر بر تابع برازش در الگوریتم ژنتیک شناسایی شدند و مقدار مناسب آنها مشخص شد (جدول ۱). عملگر تقاطع یکنواخت، عملگر جهش ابتکاری و معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک در این تحقیق، تعداد محدودی از تکرار نسل‌ها با توجه به مدت زمان اجرا که از مدت زمان تعیین شده بیشتر نشود.

جدول ۱

احتمال تقاطع	احتمال جهش	حداکثر تعداد نسل	اندازه جمعیت	اندازه مسأله
۰/۹۲	۰/۰۳	۱۵۰	۱۰۰	کوچک،[۲۰،۲]
۰/۹	۰/۰۵	۴۰۰	۱۵۰	متوسط،[۷۰،۳۰]
۰/۹	۰/۰۵	۶۰۰	۲۰۰	بزرگ،[۲۰۰،۱۰۰]

الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم عرضه شده برای بهینه‌سازی است که از مدل‌سازی ریاضی رقابت‌های امپریالیستی الهام گرفته شده است. الگوریتم رقابت استعماری، اولین بار «آتش‌پز و لوکاس» مطرح کردند. این الگوریتم، در وهله اول، با رویکردی کاملاً نو به مبحث بهینه‌سازی، پیوندی جدید میان علوم انسانی و علوم اجتماعی از یک سو و علوم فنی و ریاضی از سوی دیگر برقرار می‌کند.

مزایای الگوریتم اجتماعی پیشنهادی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

• نو بودن ایده پایه‌ای الگوریتم به عنوان اولین الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر یک فرایند اجتماعی- سیاسی

• توانایی بهینه‌سازی هم‌تراز و حتی بالاتر در مقایسه با الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی، در مواجهه با انواع مسائل بهینه‌سازی

• سرعت مناسب‌یافتن جواب بهینه

الگوریتم رقابت استعماری، همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی ـ که هر کدام از آنها یک «کشور» نامیده می‌شود ـ شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخب‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران، بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن، یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل‌سازی شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آنها شروع می‌شود. هر امپراطوری که نتواند در رقابت استعماری موفق عمل کند و بر قدرت خود بیفزاید، از صحنه رقابت استعماری حذف خواهد شد. بنابراین، بقای هم امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب و تسخیر آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده خواهد شد وامپراطوری‌های ضعیف‌تر حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود مجبور خواهند بود که مستعمرات خود را پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات از حیث قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا داشته باشیم که در آن، مستعمراتی باشند که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند[3].

جدول ۲

اندازه مسأله	اندازه جمعیت	تعداد امپراطوری‌ها	تعداد تکرارها	θ	β	ξ
کوچک [۲۰،۲]	۱۰۰	۸	۲۰۰	۰/۵	۰/۳	۰/۰۲
متوسط [۷۰،۳۰]	۱۵۰	۸	۴۰۰	۰/۷	۰/۴	۰/۰۲
بزرگ [۲۰۰،۱۰۰]	۲۰۰	۸	۶۰۰	۰/۸	۰/۵	۰/۰۳

پارامترهای تنظیم شده برای الگوریتم رقابت استعماری در جدول ۲ آمده‌اند و معیارهای توقف آن رسیدن به تعداد تکرار معین است یا اینکه فقط یک امپراطوری وجود داشته باشد.

مثال عددی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی که در محیط برنامه‌نویسی مطلب ای آر کدنویسی شده‌اند، ۱۶ مساله در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ ایجاد گردید که نتایج ۵ اجرا از هر مساله در نظر گرفته شده است.این مسائل از ۶ نمونه با اندازه کوچک (۱۵،۱۰،۸،۴،۲و ۲۰ محصولی)، ۵ نمونه با اندازه متوسط (۶۰،۵۰،۴۰،۳۰ و۷۰ محصولی) و۵ نمونه با اندازه بزرگ (۱۷۰،۱۵۰،۱۲۰،۱۰۰و ۲۰۰ محصولی) تشکیل شده‌اند. برای تولید اطلاعات عددی این مسائل از جدول۳ استفاده شده است.

جدول ۳

مدت زمان انتظار در خرده‌فروشی‌ها	مدت زمان انتظار در انبار	هزینه هر واحد	نرخ تقاضا
[۵-۴]، ۶۰٪	[۵-۴]، ۶۰٪	[۱۰۰۰-۱]، ۶۰٪	[۵۰۰-۱۰۰]، ۶۰٪
[۳۰-۲۰]، ۴۰٪	[۳۰-۲۰]، ۴۰٪	[۱۰۰۰۰-۱۰۰۰]، ۴۰٪	
[۵-۴]، ۲۰٪	[۵-۴]، ۲۰٪	[۱۰۰۰-۱]، ۲۰٪	[۱۰۰-۱۰]، ۴۰٪
[۳۰-۲۰]، ۸۰٪	[۳۰-۲۰]، ۸۰٪	[۱۰۰۰۰-۱۰۰۰]، ۸۰٪	

مقایسه عملکرد دو الگوریتم

برای مقایسه عملکرد دو الگوریتم، مقایسه‌ای بین میانگین نتایج حاصل از حل مسائل نمونه توسط این دو الگوریتم انجام شده است. به منظور مقایسه عملکرد دو الگوریتم، بهترین نتایج به دست آمده و زمان صرف شده برای رسیدن به جواب، برای ۱۶ نمونه مسأله ثبت گردید که در جدول ۴ نشان داده شده‌اند به این ترتیب که ۶ فرضیه یکی در مورد برابری میانگین بهترین جواب بدست آمده و دیگری در مورد برابری میانگین زمان صرف شده توسط دو الگوریتم برای اندازه‌های مختلف ترتیب داده شده است.

جدول ۴

اندازه	تعداد کالا	الگوریتم ژنتیک		الگوریتم‌های رقابت استعماری	
		بهترین جواب	زمان اجرا	بهترین جواب	زمان اجرا
	۲	۶۶۲۱۵	۱۶/۳۴	۶۵۲۱۱	۱۸/۸۰
	۴	۱۳۶۵۶۵	۲۷/۹۲	۱۴۶۳۲۵	۳۱/۱۱
کوچک	۸	۴۹۵۲۴۷	۸۲/۲۹	۴۵۶۸۶۵	۱۲۸/۳۶
	۱۰	۴۰۷۲۵۲	۱۲۷/۷۷	۴۵۷۲۴۵	۱۴۸/۸۴
	۱۵	۹۶۸۲۱۴	۱۷۶/۸۳	۱۳۱۲۹۴۴	۱۴۸/۰۲
	۲۰	۲۵۳۸۶۴۴	۸۹/۸۰	۲۴۱۶۲۱۲	۳۵۲/۹۸
	۳۰	۴۷۶۹۳۰۷	۱۳۸۱/۰۳	۴۱۰۸۶۹۵	۷۳۷/۰۸
	۴۰	۶۷۰۱۵۲۴	۱۱۱۳/۴۵	۶۴۷۴۳۲۵	۱۰۷۶/۳۸
متوسط	۵۰	۷۷۲۰۶۹۷	۲۳۶۷/۳۴	۷۰۶۴۴۳۵	۱۰۸۴/۳۰
	۶۰	۱۱۸۸۹۱۵۵	۲۲۲۸/۹۰	۱۰۱۳۶۱۸۰	۱۶۵۳/۹۴
	۷۰	۱۵۷۵۰۳۹۲	۳۰۵/۹۶	۱۲۲۰۸۶۵۲	۲۰۰۵/۳۰
	۱۰۰	۱۹۲۱۶۸۰۵	۴۰۸۸/۴۱	۱۵۹۱۶۲۸۳	۲۸۲۱/۶۰
	۱۲۰	۳۴۰۲۳۶۲۱	۴۱۴۷/۸۰	۲۹۳۸۹۶۰۳	۳۰۴۲/۶۰
بزرگ	۱۵۰	۴۰۶۶۱۶۷۸	۴۶۶۰/۱۵	۳۴۹۶۴۱۶۵	۳۴۴۹/۱۴
	۱۷۰	۴۵۵۶۹۲۶۵	۵۵۴۵/۶۹	۴۰۳۷۳۱۰۵	۴۹۷۵/۱۰
	۲۰۰	۵۹۳۵۶۲۳۹	۶۳۹۶/۸۳	۵۴۱۳۵۶۷۱	۵۷۲۶/۱۳

فرضیه‌ها عبارتند از:

فرضیه اول در مورد برابری میانگین بهترین جواب به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه کوچک است.

فرضیه دوم در مورد برابری میانگین زمان صرف شده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه کوچک است.

فرضیه سوم در مورد برابری میانگین بهترین جواب به‌دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه متوسط است.

فرضیه چهارم در مورد برابری میانگین زمان صرف شده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه متوسط است.

فرضیه پنجم در مورد برابری میانگین بهترین جواب به‌دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه بزرگ است.

فرضیه ششم در مورد برابری میانگین زمان صرف شده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری در اندازه بزرگ است. این فرضیه‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{cases} H_0: \mu_{ICA} = \mu_{GA} \\ H_1: \mu_{ICA} \neq \mu_{GA} \end{cases}$$

آمار استنباطی انجام شده برای آزمون فرضیه‌ها، آزمون مقایسه میانگین دو جامع مستقل است.آزمون این فرضیه‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد که نتایج به دست آمده در جدول ۵ نشان داده شده است. در فرضیه‌های اول، دوم، سوم و پنجم در سطح خطای ۵ درصد، فرضیه H0 پذیرفته می‌شود. ولی در فرضیه‌های چهارم و ششم، فرض تساوی میانگین‌ها رد می‌شود.

جدول۵. نتایج حاصل از مقایسه آماری عملکرد دو الگوریتم

اندازه نمونه	زمان اجرا	جواب به دست آمده
کوچک	تفاوت چندانی وجود ندارد.	تفاوت چندانی وجود ندارد.
متوسط	الگوریتم‌های رقابت استعماری سریعتر از الگوریتم ژنتیک همگرا می‌شود.	تفاوت چندانی وجود ندارد.
بزرگ	الگوریتم‌های رقابت استعماری سریعتر از الگوریتم ژنتیک همگرا می‌شود.	تفاوت چندانی وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، الگوریتم رقابت استعماری، سریع‌تر از الگوریتم ژنتیک به سمت جواب مطلوب همگرا می‌شود. دلایل همگرایی سریعتر الگوریتم رقابت استعماری را می‌توان سریع‌تر بودن عملگرد انتخاب آن، در نظر گرفتن نقاط بحرانی بیشتر، و حرکت در فضای جواب‌های قابل قبول تفسیر کرد.

همان‌گونه که از نتایج مقایسات مشخص شده و در جدول ۵ نشان داده شده است، جواب‌های به دست آمده از دو الگوریتم، تفاوت چندانی ندارند و در اندازه کوچک، تفاوت چندانی مشاهده نشد. اما با گذشت زمان و با توجه به خصوصیات الگوریتم رقابت استعماری، سطح مطلوب‌تری از جواب‌های بهینه، مورد انتظار است. به طور ویژه، در اندازه‌های متوسط و بزرگ، الگوریتم رقابت استعماری از قابلیت اجرایی و سرعت بالاتری برخوردار است، زیرا در الگوریتم رقابت استعماری چون از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی نیز استفاده می‌شود، علاوه بر ویژگی الگوریتم‌های تکاملی جدید، سرعت همگرایی بالاتری نیز وجود دارد.

برای تحقیقات آینده پیشنهاد نمود:

- امکان فروش از دست رفته وجود داشته باشد و برای آن هزینه در نظر گرفت.
- در مدل می‌توان خرده‌فروشان را غیر مشابه در نظر گرفت.
- برای حل مدل می‌توان از یک الگوریتم ترکیبی و نیز از سایر الگوریتم‌های جستجوگر تصادفی استفاده نمود.
- در مدل می‌توان بعضی از پارامترها را تصادفی یا فازی در نظرگرفت.
- سطوح مدل را می‌توان افزایش داد و فرایند تحویل از خرده‌فروشان به مشتری نهایی را نیز در نظر گرفت.
- در مدل می‌توان تعداد انبارها یا عرضه‌کننده خارجی را نیز افزایش داد.

منابع

1. Al-Rifaia, M، H. , Rossetti, M. (2007), "An efficient heuristic optimization algorithm for a two-echelon (R, Q) inventory system ".*Int. J. Production Economics*, 109, 195–213.
2. Anderson, J., Marklund, J. (2000), "Decentralized inventory control in a two-level distribution system", *European Journal of Operational Research*, 127,483–506.
3. Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C. (2007), "Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Singapore.
4. Caglar, D., Li, C.-L., Simchi-Levi, D. (2004), "Two-echelon spare parts inventory system subject to a service constraint", *IIE Transactions*, 36, 655–666.
5. Deuermeyer, B.L., Schwarz, L.B. (1981), "A model for the analysis of system service level in warehouse-retailer distribution systems: The identical retailer case", *TIMS Studies in the Management Sciences*, 16, 163–193.
6. Diaz, A., Fu, M.C. (1997), "Models for Multi-echelon repairable item inventory systems with limited repair capacity", *European Journal of Operational Research*, 97, 480–492.
7. Graves, S.C. (1985), "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment", *Management Science*, 31, 1247–1256.
8. Hopp, W.J., Spearman, M.L. and Zhang, R.Q. (1997), "Easily implementable inventory control policies", *Operations Research*, 45, 327–340.
9. Hopp, W.J., Spearman, M.L. (2001), "Factory Physics", second ed. *McGraw-Hi*ll, New York.
10. Hopp, W.J., Zhang, R.Q. and Spearman, M.L. (1999), "An easily implementable hierarchical heuristic for a two-echelon spare parts distribution system" *IIE Transactions*, 31,977–988.
11. Sherbrooke, C.C. (1986), " METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control" *Operations Research*, 16, 122–141.
12. Svoronos, A., Zipkin, P. (1988), "Estimating the performance of multi-level inventory systems", *Operations Research*, 36 , 57–72.