ارائه مدل ترکیبی چندهدفه دوسطحی برای مساله مدیریت موجودی یک فروشنده و چند خرده‌فروش با استفاده از دو الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه مبتنی بر پارتو

مصطفی حسین نژادی[۱،*]، علیرضا ایرج پور[۲]

[۱]کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

[۲]استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۵، اصلاحیه:اسفند ۱۳۹۵، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۶

چکیده

در این پژوهش یک مدل ریاضی VMI ارائه خواهد شد. یک هدف مبنی بر کاهش هزینه‌های موجودی کالاها در زنجیره تامین دوسطحی است و هدف‌های دیگر به دنبال توانمندسازی سیستم و کمک به تصمیم‌گیری در شرایط تقاضای احتمالی و زمان‌های تحویل احتمالی و همچنین افزایش سطح خدمت و کیفیت و نیز کاهش هزینه‌های افزایش سطح خدمت خواهد بود. همچنین، برای کارایی بیشتر در مسائل دنیای واقعی محدودیت‌هایی مانند وجود کمبود و سطح خدمت، فضای انبار، بودجه، ظرفیت انتقال، و نیز تخفیف کلی خواهیم داشت. محموله‌ها غیرهمسان فرض شده و کمبودها به دو صورت پس‌افت و فروش از دست رفته در نظر گرفته می شوند. ازآنجا که مدل به دست آمده از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی و اینکه مساله Np-Hard است، لذا باید از روش‌های حل فرا ابتکاری استفاده نمود. در آخر هدف این پژوهش ارایه مدل ریاضی مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره تامین در حالت‌هایی همچون یک خرده‌فروش - یک فروشنده، یک فروشنده – چند خرده فروش همراه با ارائه راه حل در شرایط عدم قطعیت و غیر همسان بودن محموله‌ها با مجاز بودن کمبود پس‌افت و فروش از دست رفته با تخفیف کلی است.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین، مدیریت موجودی توسط فروشنده، تصمیم‌گیری چند هدفه، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب، روش تاگوچی

۱- مقدمه

در شرایط رقابتی امروز کلیه فعالیت‌های موجود در یک زنجیره‌ی تأمین، در جهت تأمین تقاضای بازار، با ارائه‌ی محصولات با حداکثر کیفیت، حداقل قیمت و در زمان مناسب به مشتریان قرار دارند. به خاطر نقش اساسی که تأمین‌کنندگان در معیارهای هزینه، کیفیت، خدمات و ... در دستیابی به اهداف زنجیره‌ی تأمین دارند، ارتباط راهبردی با تأمین-کنندگان به نیاز ضروری برای خریدار تبدیل شده است [۱]. دو پرسش اساسی هر سیستم کنترل موجودی که باید پاسخ داده شود این است که چه وقت و چه میزان باید سفارش داده شود. در طول سال‌ها، صدها مقاله و کتاب منتشر شد و مدل‌هایی برای این پرسش‌ها تحت شرایط مفروضات مختلف ارائه کردند[۲]. گویال اولین کسی بود که مدل یکپارچه فروشنده – خریدار را مطرح کرد. در این تحقیق تقاضا ثابت است، لو مدل یکپارچه فروشنده – خریدار را در حالت وجود یک فروشنده و چند خریدار در نظر گرفت در این تحقیق فروشنده به دنبال حداقل کردن هزینه ای است که خریدار قادر است بپردازد.

گروبستروم و اردم[۱] مقدار سفارش اقتصادی به صورت جبری را برای موضوع‌هایی شامل کمبود موجودی به صورت پس افت توسعه دادند. کنترل موجودی توسط فروشنده در شکل‌های مختلفی آورده شده است. نام‌های آشنا شامل پاسخ سریع، پاسخ مصرف کننده همگام شده[۲]، کالا گیری مداوم[۳]، پاسخ مصرف کننده کارا[۴]، کالا گیری سریع[۵] ، برنامه ریزی

*m.hoseinnezhadi@gmail.com
1- Grubbstrom and Erdm
*m.hoseinnezhadi@gmail.com
2-Synchronized consumer response (SCR)
3- Continuous replenishment(CR)
4-Efficient consumer response (ECR)
5- Rapid replenishment (RR)
*m.hosheinnezhadi@gmail.com

مشارکتی، پیش بینی و کالاگیری[1] و مدیریت موجودی متمرکز[2] وابسته به کاربرد بخش، موضوعات مالکیت و دامنه اجرایی آن می‌باشد. شرفعلی و کو[3] یک زنجیره تامین دو سطحی با یک فروشنده و یک خریدار را در نظر گرفتند. در این تحقیق تقاضا احتمالی است و از توزیع پواسون پیروی می‌کند، اما زمان تحویل ثابت و قطعی فرض شده است[۳].

چونگ و هونگ و گویال مدل مقدار سفارش اقتصادی را تحت شرایط تاخیر مجاز روی پرداخت‌های مالی بحث کردند. در حالی که یک فرض ضمنی تحقیق آنها این بود که اقلام از تامین کننده بیرونی بدست می‌آید هدف اصلی تحقیق آنها توسعه مدلی برای این که واحدها با یک نرخ محدود کالاگیری شوند، بود[۴]. علاوه بر این، لیاو[4][۵] ، بیسکاپ و همکاران[5] مدل‌های خود را مبتنی بر مفهوم تاخیرهای مجاز در پرداخت‌های مالی توسعه دادند.

یاوو و همکاران[6][۶] مفروضاتی مشابه با دونگ خو [۷] استفاده کردند همراه با یک فرض اضافی (مقدارسفارش برای تامین کننده یک عدد صحیح چند گانه از مقدار کالاگیری خریدار است) سنگ و دیوودی[7] [۸] یک زنجیره تامین سه سطحی را در نظر گرفتند. در یک تحقیق فرض شده بود که تقاضا دارای توزیع پواسون است و زمان‌های تحویل بین سطح اول و دوم و بین سطح دوم و سوم از توزیع نمایی تبعیت می‌کند. در این تحقیق مولفان فقط تلاش کردند که اثر مدیریت موجودی فروشنده[8] را روی مدل یکپارچه بررسی کنند و فقط کمبود پس افت را در نظر گرفتند پسندیده و نیاکی[۹] یک مدل را با فرض اینکه سفارشات ممکن است مستقیما به شکل چند پالت تحویل داده شوند، توسعه دادند. و به علاوه آن‌ها بیش از یک محصول همراه با محدودیت فضای انبار داشتند. فراهانی و الهی پناه [۱۰] مدلی جدید برای شبکه توزیع در یک زنجیره تامین دو سطحی را توسعه دادند که نه تنها هزینه‌های کلی را کمینه می‌کند بلکه همچنین اهداف توزیع به هنگام[9]جهت ارائه بهتر موقعیت‌های دنیای واقعی را دنبال می‌کند. یک الگوریتم ژنتیک برای یافتن پارتو فرانت[10] برای مسائل اندازه بزرگی مانند این مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه طراحی شد.

سجادیه و همکاران [۱۱] مدل یکپارچه فروشنده - خریدار تک محصولی را در نظر گرفتند. در این تحقیق زمان تحویل به صورت احتمالی در نظر گرفته شده است که از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند و تقاضا ثابت و قطعی است و کبود از نوع پس افت وجود دارد. اخوان نیاکی و همکاران[11] [۱۲] یک مدل مقدار اقتصادی سفارش در دو سطحِ سیستم زنجیره تأمین، شامل چند محصول، یک تأمین کننده و یک خرده فروش توسعه یافته است در حالتی که کمبودپس افت بوده، ظرفیت انبار تأمین کنندگان محدود و یک کران بالا برای تعداد سفارشات در نظر گرفته شده است. طالعی زاده و همکاران[12][۱۳] مدل یکپارچه فروشنده – خریدار را با حالت چند محصولی و با تقاضای احتمالی در نظر گرفتند. در این تحقیق فرض شده است که تقاضا یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال است و زمان تحویل تابعی از اندازه انباشته در نظر گرفته شده است. همچنین هر دو نوع کمبود پس افت و فروش از دست رفته در این تحقیق وجود دارد.

اخوان نیاکی و همکاران[13] [۱۴] در پژوهشی زنجیزه تأمینی را گسترش داد که در آن هم فضا و هم تعداد سفارشات سالانه انبار مرکزی محدود باشد. هدف از این مقاله، یافتن تعداد سفارشات همراه با تعداد محموله‌های دریافت شده توسط خرده فروشان و فروشندگان است در حالیکه هزینه موجودی کلِ زنجیره مینیمم باشد. جواد صادقی و همکاران[14] [۱۵] در این پژوهش یک مدل مدیریت موجودی فروشنده در یک زنجیره تامین با یک فروشنده و چند خرده فروش مطرح است. جعفر رازمی و همکاران[15] این پژوهش دارای دو قسمت است: ابتدا مدل‌های ریاضی توسعه داده شده برای یکپارچه کردن سیاست مدیریت موجودی فروشندگان به خوبی سیستم مدیریت موجودی خرده فروشان سنتی و حل الگوریتم‌هایی که برای تعیین اندازه بهینه و هزینه موجودی کل زنجیره تأمین ارائه شده است. سپس تأثیر پارامترهای کلیدی شامل تقاضای خریدار، هزینه حمل و نقل خریدار، هزینه سفارش فروشنده و هزینه نگهداری فروشنده با چندین متغیره در هر سیاست مورد مطالعه قرار گرفته است.

قابل ذکر است که در ادبیات مسائل VMI، تاکنون نوع زنجیره‌های مورد مطالعه محققین غالبا از نوع یک فروشنده و یک خرده فروش بوده است نوع کمبود لحاظ شده بجز یک مورد همگی از نوع پس افت است نوع محموله‌ها به جز در پاره ای از موارد به صورت یکسان در نظر گرفته شده بود در اکثر مدل‌های ارائه شده در زمینه بهینه سازی زنجیره تامین دو سطحی تمرکز اصلی بر هزینه‌های حلقه تولید است، اما در این تحقیق هزینه‌های کل زنجیره مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-تعریف مساله

زنجیره تامینی را در نظر بگیرید که شامل یک فروشنده و چند خرده فروش است و زمان تحویل و تقاضای نهایی برای این محصول به صورت احتمالی است و به ترتیب از توزیع تجربی و توزیع نرمال پیروی می‌کنند. به محض این که موقعیت موجودی در خرده فروش به r برسد، اندازه

1-Collaborative planning, forecasting and replenishment (CPFR)
2- Centralized inventory management (CIM)
3 -Sharafali and Co
4- Liao
5- Biskup et al
6- Yao Y.L. et al
7- Sang and Dinwoodi
8 -Vendor Manage Inventory
9- Just-in-time(jit)
10- Pareto fronts
11- Akhavan Niaki Seyed Taghi et.al
12- Taleizadeh et.al
13- Akhavan Niaki Seyed Taghi et.al
14 -Sadeghi Javad et.al
15- Jafar Razmi

انباشته Q توسط توسط خرده فروش سفارش داده می‌شود. سپس فروشنده این محصول را با نرخ P و اندازه‌هایی با مضارب Q (به منظور کاهش هزینه‌های آماده سازی) تولید می‌کند و متحمل هزینه آماده سازی می‌شود. با آماده شدن محصول، انبااشته تولید شده از فروشنده به خرده فروش فرستاده می‌شود. و یک هزینه انتقال به خریدار وارد می‌شود. همچنین هزینه نگهداری به ازای هر محصول برای فروشنده و خرده فروش وجود دارد. با توجه به احتمالی بودن تقاضا، خریدار ممکن است با کمبود مواجه شود در نتیجه باید هزینه‌های کمبود را مد نظر قرار دهد که در مدل حاضر ترکیبی از هر دو نوع کمبود در نظر گرفته شده است. برای این که خریدار احتمال مواجه شدن با کمبود را حداقل نماید، باید مقداری را به عنوان موجودی اطمینان برای محصول اختصاص دهد که تعیین میزان این موجودی یکی از مجهولات مساله است.

در این مدل قصد داریم که به منظور تشویق خریدار به همکاری با فروشنده از سیاست تخفیف استفاده کنیم. حال با در نظر گرفتن این عناصر باید پارامترهای مساله را به گونه ای بدست آورد که هزینه‌های کل سیستم دو سطحی حداقل ممکن گردد و هدف دیگر افزایش سطح خدمت بطوری که هزینه‌های بهبود آن نیز کمینه سازی شود، در واقع هدف عبارتست از تعیین تعداد محموله‌ها، نقطه سفارش مجدد، موجودی اطمینان و اندازه سفارش به طوریکه هزینه کل مورد انتظار فروشنده و خریدار حداقل گردد.

۳- فرضیات

در این بخش، مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر خواهد بود:

- زنجیره تامین با یک فروشنده و چند خریدار و n محصول کالا است.
- موجودی برای هر تولید کننده در پایان هر دوره باید صفر شود.
- تقاضای مشتری برای n محصول به صورت احتمالی با توزیع نرمال در نظر گرفته شده اند.
- زمان‌های تحویل احتمالی با توزیع تجربی است.
- محموله‌ها غیر یکسان فرض شده است
- کمبود به صورت پس افت و فروش از دست رفته
- نرخ تولید برای n محصول بی نهایت است EOQ.
- قیمت‌ها ثابت و تخفیف تحت شرایط مجاز است.

٤-توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\sum_k \sum_i \sum_t \sum_j \frac{\pi^V_{kit}\beta_{kit}+\hat{\pi}^V_{kit}(1-\beta_{kit})D_{kit}\,\bar{b}(r)_{kit}}{n_{kit}\,Q_{kit}} + \sum_k \sum_i \sum_t \sum_j A^t_{kit}\frac{D_{kit}}{Q_{kit}} + \sum_k \sum_i \sum_t \sum_j A^p_{kit}\frac{D_{kit}}{n_{kit}Q_{kit}} + \sum_k \sum_t \sum_j h^V_{kt}\frac{\sum_i Q_{kit}}{2}\left[\sum_i\left[n_{kit}\left(1-\frac{D_{kit}}{P_{kit}}\right)-1+\frac{2D_{kit}}{P_{kit}}\right]\right] + \sum_k \sum_i \sum_t D_{kit}U_{kijt}X_{kijt} \quad (۱)$$

$$\text{Min } z_2 = \sum_k \sum_i \sum_t \sum_j A_{kit}\frac{D_{kit}}{n_{kit}Q_{kit}} + \sum_k \sum_i \sum_t \sum_j \frac{\pi^b_{kit}\beta_{kit}+\pi^b_{kit}(1-\beta_{kit})D^b_{it}\,b(r)^b_{it}}{n_{kit}Q_{kit}} + \sum_k \sum_i \sum_t \sum_i D_{kit}U_{kitj}X_{kitj} \quad (۲)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_k \sum_t C^V_{kt}r^V_{kt} \quad (۳)$$

$$\text{Min } Z_4 = \sum_i \sum_t C^b_{it}r^b_{it} \quad (۴)$$

$$\text{Max } Z_5 = \sum_i \sum_t r^b_{it} \quad (۵)$$

$$\text{Max } Z_6 = \sum_k \sum_t r^V_{kt} \quad (۶)$$

S.T:

$$\sum_j X_{kijt} = 1\ ;\ \forall\, k,i,t \quad (۷)$$

$$r^b_{it} = \sum_{L_{kit}} \sum_k \left[\left(\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D^b_{it}}Z_{sl^b_{it}} + L_{kit}\mu_{D^b_{it}}\right)P(L = L_{kit})\right]\ ;\ \forall i\ ,t \quad (۸)$$

$$r^V_{kt} = \sum_{L_{kit}} \sum_i \left[\left(\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D^v_{kit}}Z_{sl^V_{kt}} + L_{kit}\mu_{D^v_{kit}}\right)P(L = L_{kit})\right]\ ;\ \forall k,t$$

$$r \geq \sum_{\forall L_{kit}} \left[\left(\sqrt{L_i}\sigma_{D^b_{it}}Z_{sl^b_{it}} + L_i\mu_{D^b_{it}}\right)P(L = L_i)\right] \quad (۱۰)$$

$$r \geq -2\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\frac{\sqrt{L_i}\sigma_{D_{it}^b}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\sqrt{L_i}\,\mu_{D_{it}^b}}{\sigma_{D_{it}^b}}\right)^2}-L_i\left(\frac{\mu_{D_{it}^b}}{2}\right)\right).P(L=L_{kit})\right] \quad (11)$$

$$-2(1-\beta).\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\sqrt{L_i}\sigma_{D_{it}^b}.G_u\left(Z_{sl_{it}^b}\right)\right).P(L=L_{kit})\right]$$

SS

$$=\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\frac{\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D_{it}^b}}{\sqrt{2\pi}}e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\sqrt{L_{kit}}\,\mu_{D_{it}^b}}{\sigma_{D_{it}^b}}\right)^2}-L_{kit}\left(\frac{\mu_{D_{it}^b}}{2}\right)\right).P(L=L_{kit})\right] \quad (12)$$

$$(1-\beta).\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D_{it}^b}.G_u\left(Z_{sl_{it}^b}\right)\right).P(L=L_{kit})\right]+\frac{r}{2}$$

$$b^-(r)_{kit}^v=\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D_{kit}^v}.G_u(Z_{sl_{kt}^v})\right)P(L=L_{kit})\right] \quad (13)$$

$$b^-(r)_{it}^b=\sum_{\forall L_{kit}}\left[\left(\sqrt{L_{kit}}\sigma_{D_{it}^b}G_u(Z_{sl_{kt}^b})\right)P(L=L_{kit})\right] \quad (14)$$

$$\sum_i D_{kit}\leq P_{kt}\ ;\ \forall\, t,k \quad (15)$$

$$Q\ ,\ r\ ,\ n\ ,\ SS \geq 0\ \&\ \text{Integer} \quad (16)$$

(۱) : این رابطه هزینه‌های فروشنده را کمینه می‌کند، تابع هدف مساله در حالتی که اندازه محموله‌های ارسالی از فروشنده به خریدارها با یک ضریبی افزایش می‌یابد را نشان می‌دهد در این تابع در حالت تخفیف کلی است در این حالت فقط یکی از بازه‌های سفارش دهی انتخاب می‌گردد که این انتخاب توسط متغییر xi که یک متغییر صفر و یک است صورت می‌گیرد و به دنبال کمینه سازی به ترتیب هزینه سفارش، هزینه نگهداری، هزینه کمبود پس افت و فروش از دست رفته و هزینه خرید است.

(۲): این رابطه هزینه‌های خریدارها را کمینه می‌کند تابع هدف مساله در حالتی که اندازه محموله‌های ارسالی از فروشنده به خریدارها با یک ضریبی افزایش می‌یابد را نشان می‌دهد در این تابع در حالت تخفیف کلی است. در این حالت فقط یکی از بازه‌های سفارش دهی انتخاب می‌گردد که این انتخاب توسط متغییر xi که یک متغییر صفر و یک است صورت می‌گیرد و به دنبال کمینه سازی به ترتیب هزینه سفارش، هزینه نگهداری، هزینه کمبود پس افت و فروش از دست رفته و هزینه خرید است.

(۳): در این رابطه به دنبال کمینه سازی هزینه بهبود سطح خدمت فروشنده برای هر قطعه t هستیم.

(۴): در این رابطه به دنبال کمینه سازی هزینه بهبود سطح خدمت خریدارها برای هر قطعه t هستیم.

(۵): در این رابطه به دنبال بیشینه سازی سطح خدمت فروشنده برای قطعه t هستیم.

(۶): در این رابطه به دنبال بیشینه سازی سطح خدمت خریدارها برای قطعه t هستیم.

(۷) نشان می‌دهد که تنها یکی از xiها باید برابر یک باشد.

(۸) محدودیت سطح خدمت برای فروشنده با حداقل سطح خدمت sl، تقاضای احتمالی از نوع نرمال و زمان تحویل احتمالی از نوع گسسته است. ما برای بهینه کردن هزینه‌های بهبود سطح خدمت آنها را به صورت جداگانه مورد محاسبه قرار دادیم.

(۹) محدودیت سطح خدمت برای خریدارها با حد اقل سطح خدمت sl، تقاضای احتمالی از نوع نرمال و زمان تحویل احتمالی از نوع گسسته است.

(۱۰) محدودیت نقطه سفارش با حد اقل سطح خدمت sl ، تقاضای احتمالی از نوع نرمال و زمان تحویل احتمالی از نوع گسسته است.

(۱۱) محدودیت دیگری از r است. با شدنی بودن این محدودیت اطمینان حاصل می‌گردد که مقدار ذخیره اطمینان یک مقدار مثبت است.

(۱۲) محدودیت مقدار ذخیره اطمینان را در حالت تقاضای احتمالی از نوع نرمال، زمان تحویل احتمالی از نوع یکنواخت گسسته و در حالت وجود کمبود پس افت و فروش از دست رفته را نشان می‌دهد.

(۱۳) محدودیت مقدار کمبود را در حالت تقاضای احتمالی از نوع نرمال،

زمان تحویل احتمالی از نوع یکنواخت گسسته و در حالت وجود کمبود پس افت و فروش از دست رفته برای فروشنده را نشان می‌دهد.
(۱۴) محدودیت مقدار کمبود را در حالت تقاضای احتمالی از نوع نرمال، زمان تحویل احتمالی از نوع یکنواخت گسسته و در حالت وجود کمبود پس افت و فروش از دست رفته را برای خریدارها نشان می‌دهد.
(۱۵): این محدویت نشان می‌دهد که همیشه باید نرخ تولید بیشتر از تقاضای سالیانه لحاظ گردد.
(۱۶) بیانگر مثبت بودن و عدد صحیح بودن متغیرهای مساله است.
پس از ارائه مدل پیشنهادی، روش‌های مورد استفاده جهت حل مدل از جمله مباحث مهم در ادبیات مسائل بهینه‌سازی است. از آنجائیکه این نوع مسائل از رسته مسائل NP-Hard هستند و ضمن اینکه به دلیل پیچیده بودن مدل، زمان محاسباتی روش‌های حل دقیق به شدت بالا بوده و در اغلب موارد ناتوان در حل این نوع مسائل هستند (بروک جی و همکاران،۲۰۰۸)، از فاکتورهایی که باعث پیچیدگی مدل شده، تعداد زیاد محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم و همچنین صفر و یک بودن بعضی از متغیرها است. همچنین چند هدفه بودن مدل و تضاد بین جنس اهداف بر پیچیدگی مسئله افزوده است. بدین منظور به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای حل این مدل‌ها، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه برای حل این نوع مسائل بهره جسته‌ایم.

۵- روش حل

مدل بدست آمده در فرمول‌ها یک مدلINLP است. حل این گونه از مسایل با روش‌های دقیق مشکل است. در این مقاله جهت حل مدل پیشنهادی به ارائه دو الگوریتم چند هدفه مبتنی بر پارتو به نام‌های الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب‌ها[1] و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها[2] می‌پردازیم که نتایج حاصل از این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

۵-۱ الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه می‌باشد که توسط دب[3] و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شد. همانطور که اشاره کردیم، الگوریتم-های بهینه‌سازی تک هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می‌یابند و این در حالی‌است که در مسائل چند هدفه یک حل بهینه مجزا را نمی-توان یافت. پس طبیعی است که با یک مجموعه‌ای از حل‌ها به نام حل-های مغلوب نشده موثر سروکار داشته باشیم. از بین این مجموعه حل‌های متناهی حل مناسب جواب‌هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی را نسبت به همه اهداف داشته باشد.

برای انجام مقایسات مناسب در بهینه‌سازی چند هدفه از مفهوم غلبه استفاده می‌کنیم. مفهوم غلبه به این صورت است که فرض کنید F کل فضای موجه مسئله باشد و $x_1, x_2 \in F$ دو جواب از این مسئله باشد، می‌گوییم x_1 بر x_2 غالب است (یا x_2 مغلوب x_1 است) اگر و فقط x_1 نسبت به x_2 در هیچ کدام از اهداف بدتر نباشد. $\left(f_i(x_1) \le f_i(x_2)\ \forall i \in \{1, 2, ..., m\}\right)$ و x_1 نسبت به x_2 حداقل در یکی از اهداف اکیداً بهتر باشد $\left(f_i(x_1) < f_i(x_2)\right)$ (دب، ۲۰۰۰). بدین منظور با توجه به این تعریف دو اپراتور به‌منظور رتبه‌بندی جواب‌ها به الگوریتم ژنتیک اضافه شده و در ادبیات به الگوریتم NSGA-II شهرت یافته است. آن دو اپراتور مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها[4] و فاصله ازدحامی[5] می‌باشند. در ادامه قدم‌های پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II تشریح می‌گردد.

۵-۱-۱ مقداردهی اولیه

اطلاعات اولیه برای شروع کار الگوریتم NSGA-II پیشنهادی شامل اندازه جمعیت اولیه (nPop)، احتمال عملگر تقاطع (Pc)، احتمال عملگر جهش (Pm) و تعداد تکرار الگوریتم (nIt) است. لازم به ذکر است که مقادیر تنظیم شده این پارامترها را با استفاده از روش تاگوچی بدست می‌آوریم.

۵-۱-۲ ساختار کروموزوم

در این قسمت به‌منظور طراحی کروموزوم، از متغیرهای ساختاری استفاده نموده‌ایم. بدین صورت که هریک از ساختارهای موجود در جواب‌های ایجاد شده، مبین یکی از ویژگی‌های جواب نیز می‌باشد. ساختار مربوط به متغیرهای مسئله به قرار ذیل هستند.

$$Z_{ij} : [i * j]double; X_{ij} : [i * j]double; Y_{ij} : [i * j]double$$

۵-۱-۳ مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی

در مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها رتبه‌بندی جمعیت بر اساس نامغلوب‌ها با استفاده از مفهوم غلبه صورت می‌گیرد. به‌طور کلی برای مرتب‌کردن جمعیت با اندازه n براساس سطوح نامغلوب‌ها، هر جواب با تمام جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه شده تا مغلوب بودن یا نبودن جواب مشخص گردد. در نهایت مجموعه‌ای از جواب‌ها وجود دارد که هیچ‌کدام غالب و مغلوب همدیگر نمی‌شوند لذا این جواب‌ها اولین مرز از مرزهای نامغلوب را تشکیل می‌دهند. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته شده و فرآیند فوق دوباره تکرار می‌گردد.
این فرآیند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد. برای تخمین تراکم جواب اطراف یک جواب خاص در

1- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-I)
2- Non-dominated Ranking Genetic Algorithm (NRGA)
3- Deb
4- Fast non-dominated sort (FNDS)
5- Crowding Distance (CD)

جمعیت، متوسط فاصله این جواب از هر دو جواب مجاور براساس مقادیر اهداف محاسبه می‌شود و این مقدار، فاصله ازدحام نامیده می‌شود. به منظور محاسبه فاصله ازدحامی یک جواب خاص موجود در یک مرز، بزرگترین مستطیلی که آن جواب خاص درون مستطیل و دو جواب مجاور را در دو سمت آن جواب، راس‌های آن مستطیل باشند در نظر می‌گیریم و مجموع یک طول و یک عرض آن را به عنوان فاصله ازدحامی برای آن جواب خاص بدست می‌آوریم. یک جواب با مقدار کمتر فاصله ازدحامی بیان‌کننده تراکم بیشتر جواب در اطراف آن جواب است. بنابراین مطلوب است برای مرحله بعد جواب‌هایی انتخاب شوند که در ناحیه با تراکم کمتر یا به عبارتی دارای فاصله ازدحامی بیشتر هستند، زیرا با این کار تنوع و پراکندگی در جواب‌های بدست آمده بیشتر می‌شود[۱۶].

۵-۱-۴ والدین

در این بخش والدینی که عمل مرتب‌سازی نامغلوب و فاصله ازدحامی روی آن‌ها انجام شده نگهداری می‌شوند و در مرحله بعد با توجه به استراتژی انتخاب مربوطه، عمل تقاطع و جهش روی آن‌ها صورت می‌گیرد.

۵-۱-۵ استراتژی انتخاب

انتخاب جمعیت والد برای بکارگیری عملگرهای تقاطع و جهش بر روی آن‌ها با استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام[1] صورت می‌گیرد. این عملگر دو جواب i را مقایسه کرده و پیروز مسابقه را مشخص می‌نماید که در این راستا جواب iام از جمعیت دو ویژگی زیر را دارا می‌باشد: (۱) دارای یک رتبه یا درجه نامغلوب بودن است که آن را با r_i نشان می‌دهیم و (۲) دارای یک فاصله ازدحامی محلی است که آن را با d_i نشان می‌دهیم. بر پایه دو ویژگی بیان شده عملگر مسابقه‌ای ازدحام بدین صورت تعریف می‌شود که جواب i در مسابقه با جواب j پیروز می‌شود اگر و فقط اگر یکی از دو شرط: (۱) جواب i رتبه بهتری داشته باشد $\left(r_i \le r_j\right)$ که این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از درجه نامغلوب بودن بهتری نسبت به حریف خود برخوردار است و شرط (۲) که در هنگام هم‌رتبه بودن جواب‌ها پیش می‌آید بیانگر این است که جواب‌های i و جواب‌های j هم‌رتبه باشند و جواب i از فاصله ازدحامی بیشتری نسبت به جواب j برخوردار باشد ($r_i = r_j$ و $d_i > d_j$)، این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از ناحیه ازدحامی کوچکتری (d_i بزرگتر) نسبت به حریف برخوردار است [۱۶].

۵-۱-۶ عملگر تقاطع

جهت تولید فرزند جدید در هر تکرار از الگوریتم، عملگر تقاطع یکنواخت[2] پیاده‌سازی شده است. از این عملگر تقاطع جهت انتقال خصوصیات مناسب بعضی از ژن‌ها که در طول کروموزوم پراکنده شده‌اند، استفاده می‌شود. در شرایطی که ژن‌ها با خصوصیات مناسب در طول رشته پراکنده شده باشند، استفاده از تقاطع یکنواخت می‌تواند مفیدتر از سایر روش‌های تقاطع باشد. عملگر تقاطع یکنواخت، به صورت تصادفی بعضی از بیت‌ها را در طول رشته‌های والدین به منظور تولید فرزندان جا به جا می‌نماید [۱۶].

۵-۱-۷ عملگر جهش

عملگر جهش مورد استفاده در این مدل از نوع گوسی است. بدین صورت که در ابتدا یک نرخ جهش در نظر می‌گیریم که این نرخ در اثر اعمال تعداد ژن‌های یک کروموزم، تعداد ژنهایی که می‌بایست در هر کروموزوم تغییر یابند را نشان خواهد داد. حال با استفاده از (۱۷) اقدام به تغییر در مقادیر ژن‌ها انتخابی بصورت تصادفی و با استفاده از توزیع نرمال خواهیم کرد.

$$X_{new} = X + \sigma N(0,1) \qquad (۱۷)$$

۵-۱-۸ ارزیابی فرزندان و ترکیب کردن با والدین

در این بخش مجموعه فرزندانی که از طریق عملگرهای تقاطع و جهش به وجود آمده‌اند را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و به هریک از فرزندان یک میزان برازندگی اختصاص می‌یابد. در این بخش از الگوریتم جمعیت فرزندان و والدین را با هم ترکیب کرده و جمعیتی برابر دو برابر جمعیت سایز اولیه ایجاد می‌کنیم [۱۶]. بعد از انجام عمل ترکیب، حال مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها و فاصله ازدحامی مطرح شده را به اجرا در می‌آوریم. بدین صورت که ابتدا اعضای جمعیت هر مرز را بر اساس فاصله ازدحامی و سپس بر پایه نامغلوب‌ها رتبه‌بندی می‌نماییم. این عمل باعث می‌شود جمعیت بر اساس مرز نامغلوب و فاصله ازدحامی رتبه‌بندی شود[۱۷].

۵-۱-۹ معیار توقف

آخرین قدم در الگوریتم‌های ژنتیک بررسی شرایط توقف می‌باشد. در این راستا تکنیک استانداردی برای برای شرایط توقف الگوریتم‌های بهینه-سازی چند هدفه وجود ندارد. در نتیجه الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که به ماکزیمم مقدار از پیش تعریف شده برسد.

۵-۲ الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NRGA)

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چند هدفه جدید مبتنی بر جمعیت با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه بندی نامغلوب‌ها به طور موفقیت-آمیزی توسط عمرالجدان[3] و همکارانش برای بهینه‌سازی غیر محدب، غیرخطی و گسسته توسعه داده شده است. براساس رویکردهای موجود در مسائل قبلی، آن‌ها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه‌رولت مبتنی بر رتبه‌بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت براساس پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها (NRGA)

1- Crowded tournament selection operator
2- Uniform Crossover
3- Al Jadaan

نام‌گذاری شد. تفاوت الگوریتم NRGA با NSGA-II در دو بخش استراتژی انتخاب و بخش مرتب کردن جمعیت و انتخاب برای نسل بعد می‌باشد. در استراتژی انتخاب از عملگر چرخه رولت مبتنی بر رتبه‌بندی[1] (RRWS) به‌جای استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام استفاده می‌کنیم [۱۷]. این عملگر به گونه‌ای طراحی می‌شود که اعضای بهتر (با برازش بهتر)، احتمال انتخاب بیشتری برای تولید مثل و تشکیل نسل بعدی پیدا می‌کنند. در اینجا هر عضو جمعیت دارای دو مشخصه رتبه مرز غیر مغلوبی که در آن قرار دارد و رتبه خودش درون مرز بر اساس فاصله ازدحامی می‌باشد. بنابراین برای انتخاب یک جواب، ابتدا باید یک مرز غیرمغلوب انتخاب شود سپس درون آن مرز یک جواب انتخاب شود.

٦- تجزیه و تحلیل نتایج

به‌منظور حل مدل پیشنهادی، دو الگوریتم فرا ابتکاری حل مسائل چند هدفه بر مبنای رویکرد پارتو شامل الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NRGA) ارائه شده است. در این بخش نتایج بدست آمده از پیاده‌سازی روش‌های حل پیشنهادی بر روی مسائل آزمایشی تولید شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا پارامترهای الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله پس از اجراهای متوالی بر روی مقادیر مطابق جدول (۱) دسته‌بندی شده و سپس توسط روش تاگوچی تنظیم شده‌اند که سطوح تنظیم شده در شکل (۷) نشان داده شده است. سپس آزمایشات بر روی ۱۳ مسئله آزمایشی تولید شده در سه دسته سایز کوچک، متوسط و بزرگ اجرا شده است بگونه ای که در سایز کوچک، تعداد تامین کننده ۳ یا ۴ عدد و تعداد سطوح قیمت بین ۲ الی ۴ سطح قیمت بوده، در سایز متوسط، تعداد تامین کننده ۵ الی ۷ عدد و تعداد سطوح قیمت بین ۲ الی ۷ سطح قیمت بوده و در مسائل با سایز بزرگ تعداد تامین کننده ۸ یا ۹ عدد و تعداد سطوح قیمت بین ۲ الی ۸ سطح قیمت هستند.

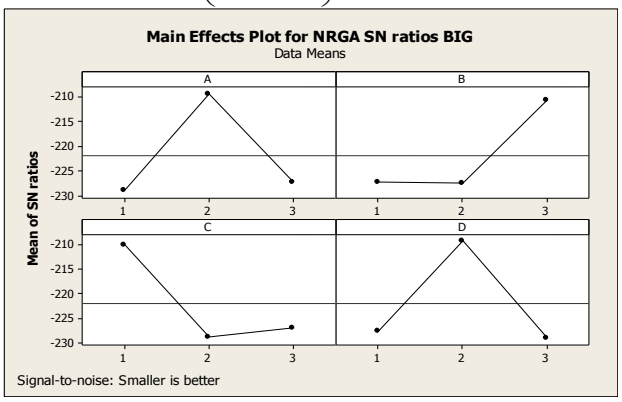
همچنین نرم افزار Lingo 11 توانایی حل مسائل با سایز بزرگ را نداشته است. کلیه الگوریتم‌های پیشنهاد شده با نرم افزار MATLAB (Version 7.8.0, R2009a) برنامه‌نویسی شده و بر روی یک نوت بوک با چهار گیگا بایت حافظه و پردازنده Intel® Core ™ 2 Duo اجرا شده است.

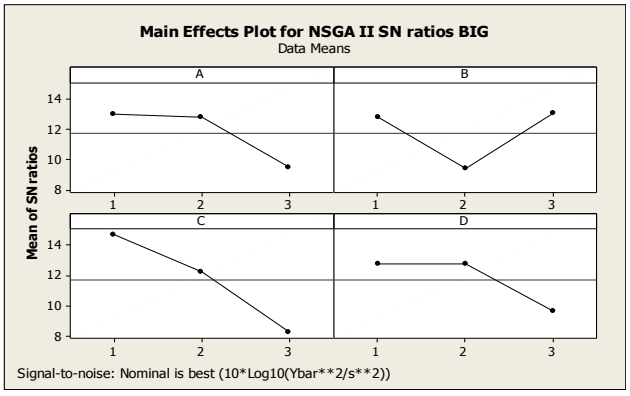
۶-۱ روش تاگوچی

از آنجایی‌که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند، لذا از روش تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای آن‌ها استفاده می‌کنیم. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه بر هزینه، بدست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است. یکی از مهم‌ترین قدم‌های این روش انتخاب یک آرایه متعامد[2] است که اثرات عوامل در میانگین پاسخ و تغییرات را تخمین می‌زند. در این تحقیق، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی L9 به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/N[3] را در نظر می‌گیرد که این نسبت در برگیرنده میانگین و تغییرات است که این نسبت در هر سطحی بیشتر باشد مطلوب‌تر است [۱۸].

متغیر پاسخ در نظر گرفته شده، نسبت دو شاخص استاندارد MID[4] به Diversity برای الگوریتم‌های چند هدفه است. از آن‌جا که این متغیر پاسخ از نوع "هرچه کمتر بهتر" است، نسبت S/N متناظر آن به صورت (۱۸) در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شوند و سپس نسبت‌های S/N توسط نرم‌افزار Minitab 16 محاسبه می‌گردند.

$$S/N\ Ratio = -10\log\left(\frac{sum\left(y^2\right)}{n}\right) \qquad (۱۸)$$





شکل(۱): نمودارهای S/N پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی

1- Ranked based roulette wheel selection (RRWS)
2- Orthogonal array (OA)
3- Signal to noise (S/N)
4- Mean Ideal Distance (MID)

۶-۲ معیارهای اندازه‌گیری برای مقایسه نتایج

در ادامه معیارهای استاندارد مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه با رویکرد پارتو ارائه می‌شود. به طور کلی بر خلاف بهینه‌سازی تک هدفه دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چند هدفه می‌توان در نظر گرفت [۱۶]. در این بخش چهار معیار مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه ارائه می‌شود.

۶-۲-۱ بیشترین گسترش[1]

این معیار که توسط زیتلر[2] (۱۹۹۹) ارائه شده است، طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب بکار می‌رود را اندازه‌گیری می‌کند. (۱۹) رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد [۱۴].

$$D=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\max_{i} f_i^j-\min_{i} f_i^j\right)^2} \qquad (۱۹)$$

در مدل دو هدفه ما، این معیار برابر با فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هرچه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است.

۶-۲-۲ فاصله‌گذاری[3]

این معیار که توسط اسکات[4] (۱۹۹۵) ارائه شد، میزان فاصله نسبی جواب-های متوالی را با استفاده از (۲۰) محاسبه می‌کند[۱۴].

$$S=\sqrt{\frac{1}{|n-1|}\sum_{i=1}^{n}\left(d_i-\bar{d}\right)^2} \qquad (۲۰)$$

که $\bar{d}=\sum_{i=1}^{n}\frac{d_i}{|n|}$ و $d_i=\min_{k\in n\ \Lambda\ k\neq m}\sum_{m=1}^{2}\left|f_m^i-f_m^k\right|$ است. فاصله اندازه‌گیری شده برابر با کمترین مقدار مجموع قدرمطلق تفاضل در مقادیر توابع هدف بین iامین جواب و جواب‌های واقع در مجموعه نامغلوب نهایی است. قابل ذکر است که این معیار فاصله با معیار کمترین فاصله اقلیدسی بین جواب‌ها متفاوت است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۲).

۶-۲-۳ تعداد جواب‌های پارتو[5]

مقدار معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت.

۶-۲-۴ فاصله از جواب ایده‌آل[6]

از آنجایی‌که در مباحث چند هدفه مبتنی بر رویکرد پارتو، یکی از اهداف، فرونت‌های هرچه نزدیکتر به مبدأ مختصات است لذا این معیار فاصله فرونت‌ها را از بهترین مقدار جمعیت محاسبه می‌کند.

بعد از تعریف معیارهای استاندارد مقایسه الگوریتم‌های چند هدفه مبتنی بر پارتو، در جدول (۲) معیارهای اندازه‌گیری مسائل آزمایشی تولید شده محاسبه شده اند. در شکل (۳) عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده بر اساس معیارهای چهارگانه به صورت گرافیکی ترسیم شده است. سپس بر اساس خروجی‌ها، الگوریتم‌ها به صورت آماری و به کمک تحلیل واریانس مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که در جدول محاسباتی (۲) نشان داده شده است مجموع مقادیر معیارهای NOS و Spacing در الگوریتم NSGA-II و معیارهای MID و Diversity برای الگوریتم NRGA از مطلوبیت بالاتری برخوردارند. به‌منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر از تحلیل‌های آماری استفاده کرده‌ایم. در این حیطه از تحلیل واریانس و آزمون t بهره جسته‌ایم که نتایج آن در جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ما یک مدل موجودی را با یک فروشنده و چند خرده فروش در حالت چند محصولی و میزان تقاضا و زمان تحویل احتمالی که به ترتیب از توزیع نرمال و تجربی پیروی می‌کردند به علاوه کمبودها به صورت ترکیبی از کمبود پس افت و فروش از دست رفته مجاز بوده و محدودیت سطح خدمت و هزینه‌های سطح خدمت و همچنین سیاست تخفیف نیز در نظر گرفته وگسترش دادیم. مدل ریاضی بدست آمده از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی بود که با توجه به NP-Hard بودن مسئله، به‌منظور حل مدل پیشنهادی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چند هدفه مبتنی بر پارتو بهره جسته‌ایم. به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به تحقیق صورت گرفته، ابتدا ادبیات مسئله به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت و بر اساس آن مدلسازی ریاضی مسئله صورت پذیرفت. در پیاده‌سازی روش‌های حل با توجه به حساس بودن پارامترها از روش تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها استفاده شده است. در انتها هم به‌منظور انتخاب کاراترین روش حل مدل‌های ارائه شده از تحلیل آماری بهره جسته‌ایم.

در نهایت، موارد زیر جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد:

- توسعه مدل برای چندین فروشنده
- استفاده از تخفیف نموی در مدل
- تاثیر دادن میزان سطح خدمت خرده فروشان و گرید آنها به تخفیف
- استفاده از دیگر الگوریتم‌ها جستجوی فرا ابتکاری نظیر شبیه سازی تبریدو الگوریتم کلونی مورچگان و دسته ماهی‌های مصنوعی و انجام تحقیقی با رویکرد تطبیقی
- اعمال روش RSM[7] برای تنظیم پارامترها

1- Maximum Spread or Diversity
2- Zitzler
3- Spacing
4- Schott
5- Number of Pareto Solution (NOS)
6 -Mean Ideal Distance (MID)
7 -Response Surface Methodology

۸- ضمائم

۱-۱- اندیس‌ها

i : اندیس خرده فروشان

j : اندیس سطوح تخفیف

k : ندیس فروشنده

m : اندیس ماده اولیه

l : اندیس تامین کنندگان

t : اندیس محصول نهایی

۱-۲- متغیرهای تصمیم

r_{kit} : نقطه سفارش مجدد

n_{kit} : محموله‌هایی که از فروشنده به خریدار حمل می‌شود

Q_{kit} : میزان سفارش محصول

SS_{it} : موجودی اطمینان خریدار

r_{it}^{b} :سطح خدمت محصول t در خرده فروش i .

r_{kt}^{v} :سطح خدمت محصول t در فروشنده i .

۱-۳- پارامترها

$\widehat{\pi}_{kit}$: هزینه کمبود فروش از دست رفته یک واحد محصول t در رابطه فروشنده ی k با خریدار i .

π_{kit} : هزینه کمبود پس افت یک واحد محصول t در رابطه فروشنده ی k با خریدار i .

n_{kit} : تعداد محموله‌هایی که از فروشنده k به خرده فروش i در خصوص قطعه t حمل می‌شود.

β_{kit} : درصدی از تقاضای محصول t که به صورت پس افت از فروشنده k به خرده فروش i میرسد.

r_{kit} :نقطه سفارش مجدد محصول t در نزد خریدار i از فروشنده k .

L_{kit} :زمان تحویل هر واحد محصول t از فروشنده ی k به خریدار i .

sl_{it}^{b} :حد پایین سطح خدمت برای محصول t در خریدار i .

sl_{kt}^{v} : حد پایین سطح خدمت برای محصول t در فروشنده i.

c_{it}^{b} :هزینه بهبود سطح خدمت محصول t در خریدار i.

c_{kt}^{v} :هزینه بهبود سطح خدمت محصول t در فروشنده i .

QU_{kit} :درصد اقلام معیوب محصول t در محموله‌های فروشنده K به خریدار t .

SA_{kit}^{V} :سطح رضایت از ارتباط بین فروشنده k و خریدار i در ارتباط با محصول t.

SA_{kit}^{b} :سطح رضایت از ارتباط بین خریدار i و فروشنده k در ارتباط با محصول t.

IA_{kit} :نمره آدیت داخلی فروشنده k از خرده فروش i در خصوص محصول t.

EI_{it} : نمره آدیت خارجی خرده فروش i در خصوص محصول t.

A_{kit} :هزینه سفارش دهی قطعه t توسط خرده فروش i به فروشنده k .

$C_{A\,b}$: متوسط هزینه سالیانه سفارش دهی خریدار

$C_{A\,v}$: متوسط هزینه سالیانه آماده سازی فروشنده

D_{kit}^{v}:تقاضای سالیانه محصول t توسط خرده فروش i از فروشنده k .

D_{it}^{b}:تقاضای سالیانه محصول t از خرده فروش i.

Q_{kit} : میزان سفارش محصول t توسط خرده فروش i از فروشنده k.

$b^{-}(r)_{kit}^{v}$: :متوسط میزان کمبود محصول t توسط خرده فروش i از فروشنده k .

$b^{-}(r)_{it}^{b}$:متوسط میزان کمبود محصول t در خرده فروش i.

X_{kijt} :اگر مقدار سفارش خرده فروش i در سطح j تخفیف، فروشنده ی K در خصوص قطعه t واقع شود .

A_{kit}^{t} :هزینه ثابت انتقال به ازای هر محموله از محصول t ما بین فروشنده ی k و خرده فروش i.

A_{kit}^{p} :هزینه آماده سازی هر واحد محصول t در فروشنده K جهت خرده فروش i.

h_{kt}^{v} :هزینه نگهداری هر واحد محصول t در محل فروشنده ی k..

h_{it}^{b} :هزینه نگهداری هر واحد محصول t در محل خرده فروش i.

P_{kt} :نرخ تولید محصول t در نزد فروشنده ی k.

U_{kijt} : قیمت واحد خرید محصول t در ارتباط بین فروشنده ی k و خریدار i در سطح j.

SS_{it} :موجودی اطمینان محصول t در نزد خریدار i.

$C_{T\,b}$: متوسط هزینه سالیانه انتقال

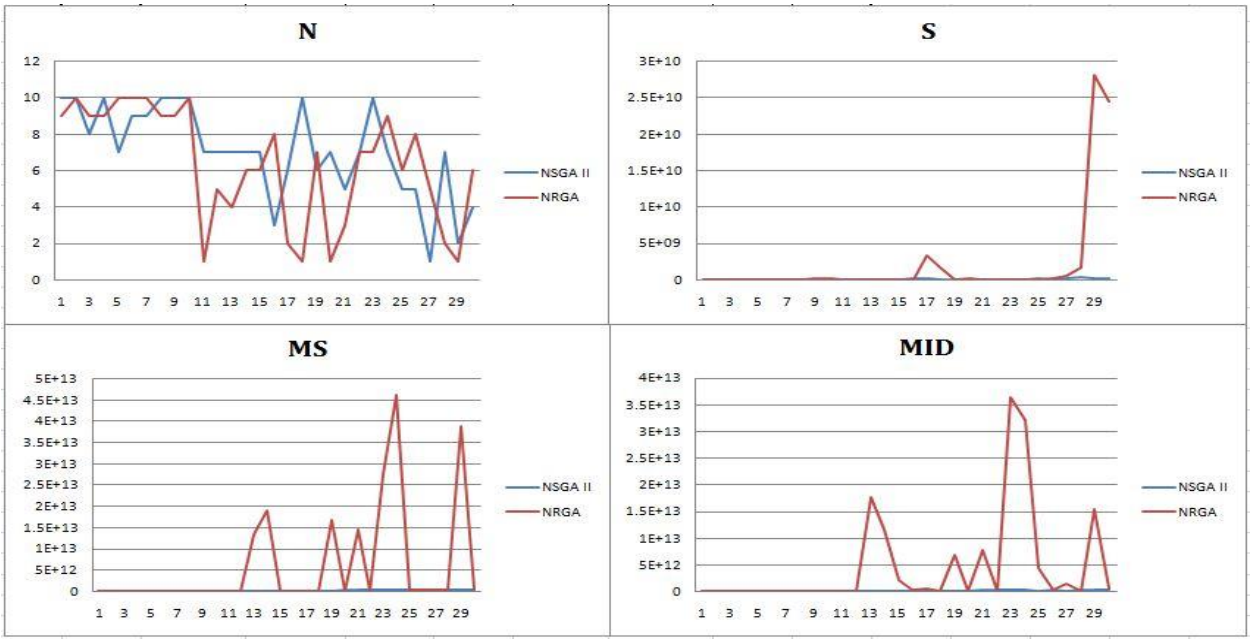
$C_{H\,b}$: متوسط هزینه سالیانه نگهداری محصول در خریدار

$C_{H\,v}$: متوسط هزینه سالیانه نگهداری محصول در فروشنده

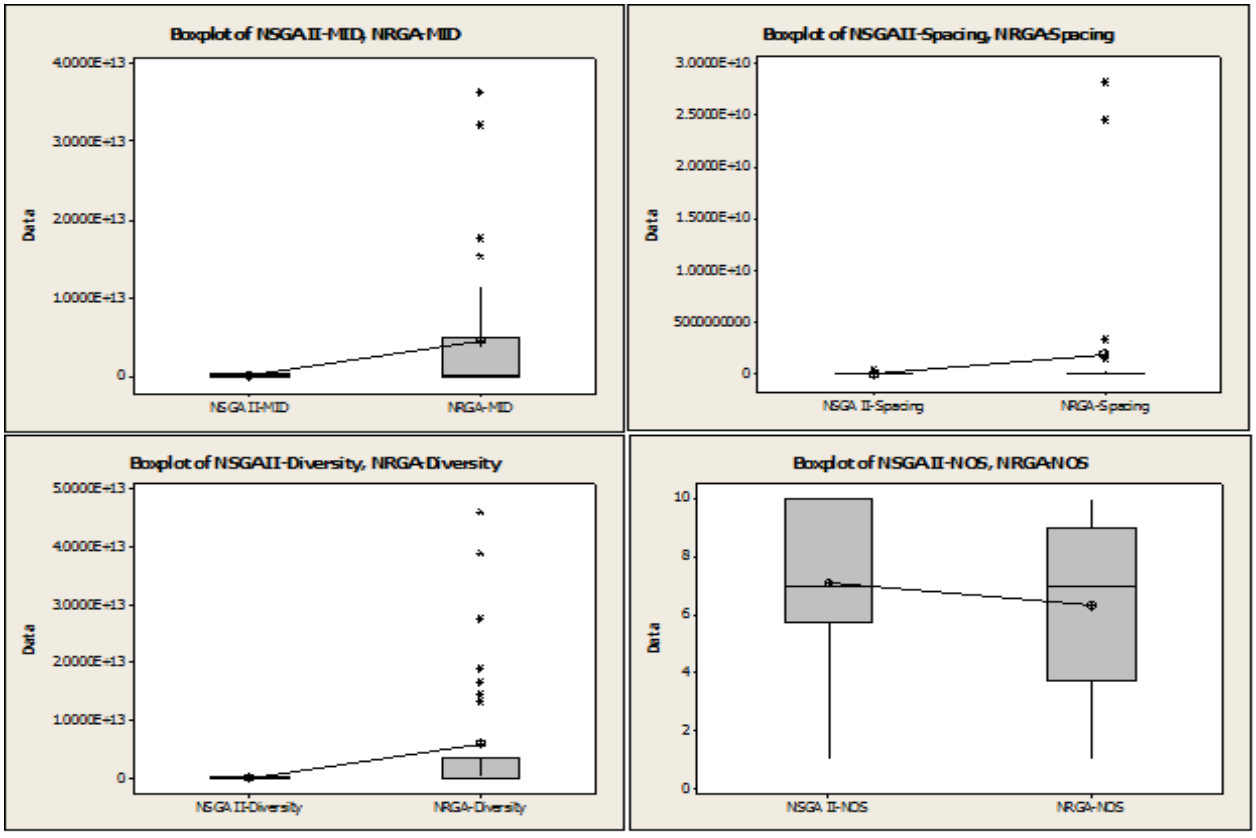
$C_{B\,b}$: متوسط هزینه سالیانه کمبود خریدار در حالت پس افت

$C_{S\,b}$: متوسط هزینه سالیانه کمبود خریدار در حالت فروش از دست رفته

$CM_{\,b}$: هزینه خرید.



شکل (۲): نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA بر اساس معیارهای استاندارد



شکل (۳): نمودار جعبه‌ای مقایسه فاصله اطمینان بر اساس معیارهای استاندارد الگوریتم‌های چندهدفه

جدول (۱): سطوح و دامنه ارائه شده برای پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی

الگوریتم‌های پیشنهادی	پارامترهای الگوریتم	دامنه پارامترها	پائین (۱)	متوسط (۲)	بالا (۳)
NSGA-II	اندازه جمعیت	۷۵ –۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۷۵
	تعداد تکرار	۲۰۰ –۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰
	نرخ تقاطع	۰/۷ –۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۸
	نرخ جهش	۰/٤ –۰/٤۵	۰/٤۵	۰/٤۰	۰/٤۰
NRGA	اندازه جمعیت	۷۵–۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۷۵
	تعداد تکرار	۲۰۰ –۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰
	نرخ تقاطع	۰/۷ –۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۸
	نرخ جهش	۰/٤ –۰/٤۵	۰/٤۵	۰/٤۰	۰/٤۰

جدول (۲): مجوع محاسباتی معیارهای اندازه‌گیری مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA

شاخص‌های اندازه‌گیری چند هدفه							
NSGA-II				*NRGA*			
MID	*Diversity*	*Spacing*	*NOS*	*MID*	*Diversity*	*Spacing*	*NOS*
۶۱۴۹۳۲۷۱ ۱۵	E+۳,۰۵۵۵۲ ۱۲	۱۵۷۶۲۶ ۸۷۱۶	۲۱۳	۱,۳۶۴۵۷ ۱۴E+	۱,۷۷۸۶ ۱۴E+	۶۰۱۳۸۱ ۳۹۷۷	۱۹۰

جدول (۳): نتایج تحلیل واریانس مقایسه معیارها

شاخص	*P-Value*	نتایج آزمون
MID	۰/۰۱۵	رد فرض صفر
Diversity	۰/۰۱۵	رد فرض صفر
Sapcing	۰/۱۱۹	عدم رد فرض صفر
NOS	۰/۳۰۱	عدم رد فرض صفر

۹- منابع و مأخذ

[۱] عمید، امین. قدسی‌پور، سید حسن. (۱۳۸٦)، **مدل چند هدفه‌ی فازی وزن‌دار برای تخصیص سفارشات خرید به تأمین‌کنندگان در یک زنجیره‌ی تأمین**، پیام مدیریت، ص ۷٦-۵۳.

[2] Sadeghi, J., Sadeghi, A. H. M. A. D., & Saidi-Mehrabad, M., (2011), **A parameter-tuned genetic algorithm for vendor managed inventory model for a case single-vendor single-retailer with multi-product and multi-constraint**, Journal of Optimization in Industrial Engineering, 9, 57-67.

[3] Sadeghi, J., Mousavi, S. M., Niaki, S. T. A., & Sadeghi, S., (2014), **Optimizing a bi-objective inventory model of a three-echelon supply chain using a tuned hybrid bat algorithm**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 70, 274-292.

[4] Kannan, G., Grigore, M. C., Devika, K., & Senthilkumar, A., (2013), **An analysis of the general benefits of a centralised VMI system based on the EOQ model**, International Journal of Production Research, 51(1), 172-188.

[5] Liao, S. H., Hsieh, C. L., & Lai, P. J., (2011), **An evolutionary approach for multi-objective optimization of the integrated location–inventory distribution network problem in vendor-managed inventory**, Expert Systems with Applications, 38(6), 6768-6776.

[6] Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L. L., Liang, L., & Chu, C., (2013), **Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system**, European Journal of Operational Research, 225(2), 273-284.

[7] Kuo, W., & Zuo, M. J.,(2003), **Optimal Reliability Modeling, Principles and Applications**.

[8] Song, D. P., & Dinwoodie, J., (2008), **Quantifying the effectiveness of VMI and integrated inventory management in a supply chain with uncertain lead-times and uncertain demands**, Production Planning and Control, 19(6), 590-600.

[9] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R., (2011), **A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model**, Expert Systems with Applications, 38(3), 2708-2716.

[10] Farahani, R. Z., & Elahipanah, M., (2008), A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for **just-in-time distribution in a supply chain**, International Journal of Production Economics, 111(2), 229-243.

[11] Guerrero Rueda, W. J., (2014), **Models and optimization methods for the inventory-location-routing problem (Doctoral dissertation**, Troyes.

[12] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R., (2010), **An investigation of vendor-managed inventory application in supply chain: the EOQ model with shortage**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 49(1-4), 329-339.

[13] Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., Aryanezhad, M. B., & Shafii, N, (2013**), A hybrid method of fuzzy simulation and genetic algorithm to optimize constrained inventory control systems with stochastic replenishments and fuzzy demand**, Information Sciences, 220, 425-441.

[14] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Sharafzadeh, S., (2013), **Optimizing a bi-objective multi-product EPQ model with defective items, rework and limited orders: NSGA-II and MOPSO algorithms**, Journal of Manufacturing Systems, 32(4), 764-770.

[15] Sadeghi, J., Sadeghi, S., & Niaki, S. T. A, (2014), **Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: an improved particle swarm optimization algorithm**, Information Sciences, 272, 126-144.

[16] Deb, K., (2001), **Multi-objective optimization using evolutionary algorithms**,(Vol. 16), John Wiley & Sons.

[17] Rahmati, S. H. A., Hajipour, V., Niaki, S. T. A., (2013), **A soft-computing Pareto-based meta-heuristic algorithm for a multi-objective multi-server facility location problem**, Applied Soft Computing, 13(4), 1728-1740.

[18] Taguchi, G. (1986). Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes..

[19] Zitzler, E., Thiele, L., (1999), **Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach**, evolutionary computation, IEEE transactions on, 3(4), 257-271.