

مدل سازی یک پارچه تولیدکننده - خرده فروشان بر پایه مدیریت موجودی توسط فروشنده

امیرحسین نیکنام فر (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قزوین، ایران

سید حمیدرضا پسندیده* (استادیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه خوارزمی

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۳ (۱۱۸-۱) - ۳۰ شماره ۲، ص. ۱۱۱-۱۱۸

در این نوشتار یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش در حالت چندمحصولی ارائه می‌شود. در این مدل، تولیدکننده براساس سیستم «مدیریت موجودی توسط فروشنده» به تصمیم‌گیری در رابطه با سطح موجودی زنجیره می‌پردازد. بدین منظور در این پژوهش تقاضا برای خرده‌فروشان تابعی غیرخطی از قیمت فروش در نظر گرفته شده است. هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی سود تولیدکننده و نیز سود خرده‌فروشان، به صورت یک پارچه و بدون در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی، در زنجیره‌ی تأمین است. سپس یک مدل دوهدفه‌ی غیرخطی، ارائه و با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه - با در نظر گرفتن شش مسئله با تعداد خرده‌فروشان مختلف - حل و نتایج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان، هر دو الگوریتم براساس میزان کارایی در حل مسائل رتبه‌بندی می‌شوند.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، مدل‌سازی یک پارچه، مدیریت موجودی توسط فروشنده.

۱. مقدمه

مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)^۱، یک روش برنامه‌ریزی کارا در زنجیره‌ی تأمین است که هدف آن، کاهش سطوح موجودی و در نتیجه کاهش هزینه‌های لجستیک و بهبود سطح خدمات، از طریق ایجاد همکاری و تطبیق دادن فعالیت‌های هر یک از اعضای زنجیره‌ی تأمین است.^۱ در خصوص جایگاه مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره‌ی تأمین تحقیقات متعددی صورت گرفته است که می‌توان آنها را به سه دسته کلی تقسیم کرد: ۱. تحقیقات در خصوص فواید پذیرش مدیریت موجودی توسط فروشنده در زنجیره‌ی تأمین؛ ۲. تحقیقات در خصوص بهینه‌سازی تصمیمات در برنامه‌ریزی VMI؛ ۳. تجزیه و تحلیل قراردادها در برنامه‌ریزی VMI.^۲ از آنجا که موضوع مورد بحث در این نوشتار به دسته‌ی دوم این تحقیقات مرتبط است، در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در این دسته اشاره می‌شود.

در سال ۲۰۰۰ محققین زمان‌بندی بهینه‌ی ارسال و تدارک کالا را در برنامه‌ریزی VMI ارائه دادند به طوری که در آن تقاضای کالا تصادفی معرفی شده است.^۳ در سال ۲۰۰۶ مدلی برای یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی - شامل یک تولیدکننده با ظرفیت تولید محدود و تعدادی خرده‌فروش - توسعه داده شد. در این مدل، موجودی هر یک از خرده‌فروشان توسط تولیدکننده مدیریت می‌شود. هدف از این مدل، تعیین قیمت‌های خرده‌فروشی و عمده‌فروشی محصول است به طوری که کل

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۱۰/۲۶، اصلاحیه ۱۳۹۲/۲/۲۲، پذیرش ۱۳۹۲/۳/۲۴.

niknamfar@yahoo.com
shr_pasandideh@khu.ac.ir

هزینه‌های زنجیره کمیته شود.^۵ یک سال بعد، مدل یک پارچه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده برای یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی - شامل یک تولیدکننده و چندین خریدار - ارائه شد. دوره‌های سفارش‌دهی متعدد خریداران و نیز ارائه‌ی تخفیف توسط فروشنده، از ویژگی‌های این مطالعه است.^۶

در سال ۲۰۰۹، محققین مدل قبلی را با استفاده از نظریه‌ی بازی‌های توسعه دادند.^۷ در همین سال، مدلی براساس نظریه‌ی بازی استکلبرگ^۲ برای زنجیره‌ی تأمین براساس مدیریت موجودی توسط فروشنده - شامل یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش - در شرایط تک‌محصولی و دوره‌ی زمانی ثابت ارائه کردند. در این مدل تولیدکننده مواد اولیه را براساس دوره‌ی سفارش‌دهی خریداری، و اقدام به تولید محصول می‌کند. او علاوه بر نگهداری موجودی محصول و مواد اولیه، مسئولیت مدیریت موجودی محصول تمام خرده‌فروشان را نیز به عهده دارد.^۸ از ویژگی‌های مهم تحقیقات انجام شده توسط این محققین می‌توان به در نظر گرفتن مفهوم سرمایه‌گذاری در تبلیغات و تأثیر آن در اثربخشی مدیریت موجودی توسط فروشنده اشاره کرد.

در سال ۲۰۱۰ محققین سیستم VMI را برای یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی - شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش - به صورت تک‌محصولی با هدف بهینه‌سازی سود تولیدکننده و خرده‌فروشان به طور مستقل از هم توسعه دادند. مدیریت موجودی توسط فروشنده در دو حالت بررسی شده است: ۱. بین تولیدکننده و تمامی خرده‌فروشان سیستم VMI برقرار است؛ ۲. یکی از خرده‌فروشان مستقل از

تولیدکننده، موجودی خود را مدیریت می‌کند. سپس هر دو حالت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.^[۹] در سال ۲۰۱۱، محققین به تجزیه و تحلیل قیمت‌های خرده‌فروشی، مقدار و زمان بندی سفارش‌دهی اقلام فاسدشدنی در بازارهای الکترونیکی -- با دو رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده و نیز مدیریت موجودی توسط خرده‌فروش -- پرداختند.^[۱۰] سپس در سال ۲۰۱۲ پژوهش‌گران یک مدل یک پارچه‌ای VMI با تقاضای قطعی در زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند که در آن مواد اولیه و محصولات سریع فاسد می‌شوند. در این مدل متغیرهای تصمیم عبارت‌اند از دوره‌ی سفارش‌دهی محصولات و مواد اولیه، و هدف آن کمیته‌سازی کل هزینه‌های مرتبط با موجودی است. نتایج نشان داد که نرخ فاسدشدن محصول بیش از ۴۰٪ و نرخ فاسد شدن مواد اولیه کم‌تر از ۵٪ در افزایش کل هزینه‌ها تأثیر دارند.^[۱۱] در سال ۲۰۱۲، محققین یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله‌ی مسیریابی - موجودی با در نظر گرفتن VMI برای چندین تولیدکننده و چندین انبار ارائه کردند. زمان بندی ارسال، اندازه‌ی محموله و مسیریابی محصولات از متغیرهای تصمیم این تحقیق‌اند.^[۱۲]

در سال ۲۰۱۳، محققین به توسعه‌ی یک مدل VMI، متشکل از یک فروشنده و چندین خرده‌فروش با نرخ تقاضای قطعی پرداختند. در این مدل، نقطه‌ی سفارش فروشنده و خرده‌فروشان متغیرهای تصمیم‌اند و هدف آن کمیته‌سازی هزینه‌های موجودی است به طوری که محدودیت فضای انبار خرده‌فروشان تضمین شود.^[۱۳] در همین سال، پژوهش‌گران مدل ارائه شده توسط محققین در سال ۲۰۱۰ را با در نظر گرفتن مسئله‌ی انتخاب خرده‌فروشان توسعه دادند. از برنامه‌ریزی بویا، الگوریتم ژنتیک و روش‌های شبکه‌ی برای حل مدل استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که با انتخاب بهینه‌ی خرده‌فروشان، سود تولیدکننده تا ۹۰٪ افزایش می‌یابد و سود خرده‌فروشان افزایش قابل توجهی دارد.^[۱۴]

در بیشتر مدل‌های زنجیره‌ی تأمین دوسطحی براساس VMI که شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش هستند، معمولاً تقاضا به صورت قطعی یا متغیر تصادفی فرض شده و توجه کم‌تری به عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش تقاضا شده است. همچنین در اکثر مطالعات صورت گرفته پیرامون این موضوع، از نظریه‌ی بازی استکلبرگ یا از ساختار سلسله‌مراتبی استفاده شده است، به گونه‌ی که در سطح اول ساختار سلسله‌مراتبی، ابتدا تولیدکننده سود خود را بیشینه می‌کند و سپس در سطح دوم آن خرده‌فروشان از تصمیمات بهینه‌ی تولیدکننده به عنوان اطلاعات ورودی استفاده کرده و سود خود را بیشینه می‌کنند. به عبارت دیگر، اعضای زنجیره به طور غیر یک پارچه سود خود را بیشینه می‌کنند.

در این تحقیق، برخلاف تحقیقات پیشین، تلاش شده تا هم اهداف تولیدکننده و هم اهداف خرده‌فروشان به طور هم‌زمان و یک پارچه، بدون در نظر گرفتن برنامه‌ریزی دوسطحی یا نظریه‌ی بازی استکلبرگ مطرح شود، و بتوان تصمیمات مناسبی اتخاذ کرد که منجر به حالت برد - برد^۳ در اعضای زنجیره‌ی تأمین شود.

در این نوشتار مدلی برای یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی -- شامل یک تولیدکننده با ظرفیت محدود و چندین خرده‌فروش -- در حالت چندمحصولی و در سطح تاکتیکی طراحی می‌شود. بین تولیدکننده و هر یک از خرده‌فروشان سیستم VMI برقرار است. تقاضای ارسال شده از طرف بازار مصرف‌کنندگان به هر خرده‌فروش برای هر محصول، تابعی غیرخطی از قیمت فروش آن محصول است. هدف پژوهش حاضر، بیشینه‌سازی سود تولیدکننده و نیز سود خرده‌فروشان، به طور یک پارچه و بدون در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی، با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه است. الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه بهینه‌سازی تصمیمات هم‌زمان هر یک از اعضای زنجیره را ممکن می‌سازد.

۲. تعریف مسئله

یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش $(C = 1, \dots, C)$ را در نظر بگیرید. تولیدکننده با توجه به ظرفیت محدود خود محصولات مختلفی $(i = 1, \dots, I)$ تولید، و به خرده‌فروشان ارسال می‌کند. زمان تحویل محصولات ناچیز فرض شده است. خرده‌فروشان در مکان‌های مختلفی مستقرند و مستقل از هم فعالیت می‌کنند. بنابراین هر یک از خرده‌فروشان می‌توانند هر محصول را با قیمت خرده‌فروشی متفاوتی به فروش برسانند. براساس توافق، بین تولیدکننده و خرده‌فروشان سیستم VMI برقرار است و تولیدکننده تمام سطح موجودی زنجیره‌ی تأمین را مدیریت می‌کند. اطلاعات هر خرده‌فروش مستقیماً در اختیار تولیدکننده قرار می‌گیرد. میزان سفارش هر محصول برای هر خرده‌فروش در تمام دوره‌ها، و نیز میزان محصول ارسال شده از طرف تولیدکننده به خرده‌فروشان، متناسب با تقاضای ارسال شده از طرف بازار مصرف‌کنندگان است. میزان تقاضا، تابعی غیرخطی از قیمت خرده‌فروشی است. از تخفیف چشم‌پوشی شده و فقط کم بودن تعداد خرده‌فروشان مجاز است. همچنین براساس توافق به عمل آمده بین خرده‌فروش و تولیدکننده، خرده‌فروش بابت مدیریت موجودی هر واحد محصول هزینه‌ی تولیدکننده می‌پردازد. دوره‌ی سفارش‌دهی هر محصول برای همه خرده‌فروشان یکسان است. هدف از تحلیل مسئله، تعیین قیمت‌های عمده‌فروشی و خرده‌فروشی محصولات، میزان کمبود محصولات و همچنین تعیین دوره‌ی سفارش‌دهی محصولات است به طوری که سود تولیدکننده و خرده‌فروشان بیشینه شده و محدودیت‌های مدل نیز ارضاء شود. براساس پژوهش انجام شده توسط محققین در سال ۲۰۱۰، غیرخطی بودن میزان تقاضا و قیمت خرده‌فروشی، بر پیچیدگی محاسباتی مسئله می‌افزاید.^[۹]

۳. مدل سازی مسئله

در این بخش ابتدا پارامترها و متغیرهای تصمیم و سپس مدل مسئله بیان می‌شود.

۳.۱. پارامترها

k_c : شاخص بازار^۴ برای خرده‌فروش c ؛

e_c : کشسانی قیمت^۵ در رابطه با بازار خرده‌فروش c ؛

ζ_c : هزینه‌ی مدیریت موجودی هر واحد محصول i برای خرده‌فروش c ؛

cm : هزینه‌ی تولید هر واحد محصول؛

φ : هزینه‌ی توزیع هر واحد محصول به هر خرده‌فروش؛

P : نرخ تولید برای تولیدکننده؛

S_i : هزینه‌ی ثابت آماده‌سازی محصول i برای تولیدکننده در هر دوره‌ی سفارش‌دهی؛

SR_c : هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی برای خرده‌فروش c ؛

π_{ic} : هزینه‌ی کمبود هر واحد محصول i خرده‌فروش c ؛

H_i : هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول i برای تولیدکننده؛

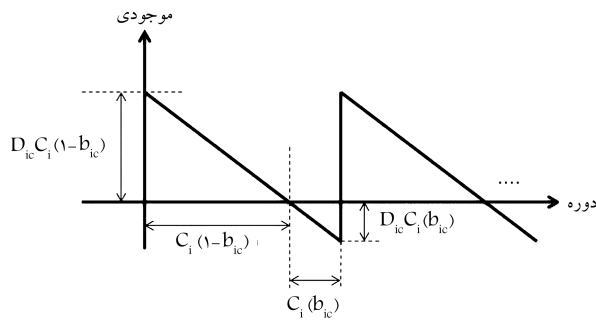
h_{ic} : هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول i برای خرده‌فروش c .

۳.۲. متغیرهای تصمیم

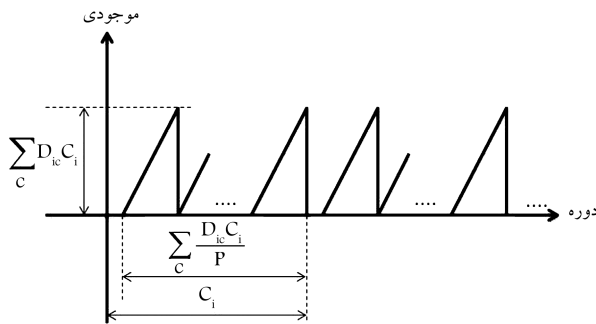
w_{ic} : قیمت عمده‌فروشی هر واحد محصول i به خرده‌فروش c ؛

p_{ic} : قیمت خرده‌فروشی محصول i در خرده‌فروش c ؛

b_{ic} : کسری از کمبود محصول i برای خرده فروش c ؛
 C_i : دوره سفارش دهی برای محصول i .



شکل ۱. نمودار موجودی محصول i طی دوره سفارش دهی برای خرده فروش c .



شکل ۲. نمودار موجودی محصول i طی دوره سفارش دهی برای تولیدکننده.

باشد. رابطه ۶ نشان می‌دهد که قیمت خرده‌فروشی هر واحد محصول برای هر خرده‌فروش، باید از قیمت عمده‌فروشی و نیز هزینه مدیریت موجودی هر واحد آن محصول بیشتر باشد تا سود خرده‌فروش به‌ازای فروش آن محصول تأمین شود. روابط ۷ و ۸ نشان‌دهنده وضعیت متغیرهاست. با استفاده از شکل ۱ می‌توان متوسط هزینه‌های نگهداری و کمبود محصول i را برای خرده‌فروشان طی دوره سفارش‌دهی آن محصول به دست آورد. همچنین در شکل ۲ سطح موجودی محصول i طی دوره سفارش‌دهی آن محصول برای تولیدکننده نشان داده شده است.

۴. الگوریتم‌های حل

در این نوشتار از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی شده نامغلوب (NSGA-II)^۷ و نیز الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی شده نامغلوب (NRGA)^۸ برای حل مدل استفاده می‌شود. الگوریتم NSGA-II یکی از کاراترین روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه برمیانی جمعیت است. در هر گام این روش، انتخاب جمعیت جدید مبتنی بر اصل غلبگی است و پس از انتخاب بهترین جواب‌های نامغلوب با استفاده از نخبه‌گرایی و رتبه‌بندی جمعیت، گام بعد شروع می‌شود. اگر دو تابع هدف بهینه‌سازی f_1 و f_2 وجود داشته باشد، در آن صورت جواب x و y به‌گونه‌ای حاصل می‌شود که جواب x جواب y را مغلوب می‌کند ($x < y$) مشروط بر آن که $(f_1(x) \geq f_1(y))$ و $(f_2(x) > f_2(y))$ یا این که $(f_1(x) > f_1(y))$ و $(f_2(x) \geq f_2(y))$ باشد. همچنین برای رعایت توزیع مناسب چگالی جواب‌ها، در این الگوریتم از مفهومی با عنوان فاصله‌ی ازدحام^۹ استفاده می‌شود. مراحل اجرای این الگوریتم عبارت است از:^[۱۰]

گام ۱. جمعیت اولیه‌ی P را به‌اندازه N با جواب‌های تصادفی ایجاد کنید و t را

۳.۳. مدل مسئله

با استفاده تابع کوب - داگلاس^۶ می‌توان تأثیر قیمت خرده‌فروشی در میزان تقاضا را بررسی کرد. در آن صورت با استفاده از رابطه ۱ میزان تقاضا به دست می‌آید.

$$D_{ic} = k_c p_{ic}^{-\epsilon_c}, \quad \forall i, c, \quad (1)$$

براساس رابطه‌ی ۱، با افزایش قیمت خرده‌فروشی محصول، میزان تقاضا کاهش می‌یابد.^[۹] در نتیجه، مدل دو هدفه‌ی بهینه‌سازی سود تولیدکننده - خرده‌فروش عبارت خواهد بود از:

$$\max Z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C D_{ic} (w_{ic} - cm - \varphi) - \sum_{i=1}^I \frac{S_i}{C_i} - \sum_{i=1}^I H_i \left[\sum_{c=1}^C \frac{D_{ic} C_i}{\gamma P} \right] - TC_{VMI}, \quad (2)$$

$$\max Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C D_{ic} (p_{ic} - w_{ic} - \zeta_{ic}), \quad (3)$$

s. t.

$$TC_{VMI} = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I \frac{SR_c}{C_i} + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C h_{ic} \left(\frac{D_{ic} (1 - b_{ic})^\gamma C_i}{\gamma} \right) + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \pi_{ic} \left(\frac{D_{ic} b_{ic}^\gamma C_i}{\gamma} \right) - \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \zeta_{ic} D_{ic} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C D_{ic} \leq P, \quad (5)$$

$$p_{ic} > w_{ic} + \zeta_{ic}, \quad \forall i, c, \quad (6)$$

$$0 \leq b_{ic} \leq 1, \quad \forall i, c, \quad (7)$$

$$C_i, w_{ic}, p_{ic} \geq 0, \quad \forall i, c; \quad (8)$$

مشاهده می‌شود که مدل فوق یک مدل غیرخطی با دو هدف متناقض است. رابطه‌ی ۲، تابع هدف و بیان‌گر بهینه‌سازی سود تولیدکننده است که درآمد حاصل از فروش محصولات به خرده‌فروشان با قیمت عمده‌فروشی و هزینه‌های تولید و توزیع محصولات، هزینه‌های آماده‌سازی، نگهداری محصولات و هزینه‌های ناشی از مدیریت موجودی توسط فروشنده (TC_{VMI}) را شامل می‌شود. رابطه‌ی ۳ تابع هدف و بیان‌گر بهینه‌سازی سود به دست آمده برای تمام خرده‌فروشان است که در آن درآمد ناشی از فروش هر واحد محصول با قیمت خرده‌فروشی، خرید هر واحد محصول با قیمت عمده‌فروشی و نیز هزینه‌ی مدیریت موجودی پرداخت شده به تولیدکننده به‌ازای هر واحد محصول لحاظ شده است. رابطه‌ی ۴ بیان‌گر هزینه‌های ناشی از سیستم VMI است که برای تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود و به ترتیب هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی خرده‌فروشان، هزینه‌ی نگهداری موجودی خرده‌فروشان، هزینه‌های کمبود خرده‌فروشان و در نهایت (عبارت آخر) درآمد حاصل از مدیریت موجودی خرده‌فروشان به‌ازای هر واحد محصول دریافت شده توسط تولیدکننده را شامل می‌شود. رابطه‌ی ۵ تضمین می‌کند که مجموع تقاضا از ظرفیت تولید کم‌تر

P_{11}	P_{1r}	P_{1c}	b_{11}	b_{1r}	b_{1c}	w_{11}	w_{1r}	w_{1c}	C_1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
P_{11}	P_{1r}	P_{1c}	b_{11}	b_{1r}	b_{1c}	w_{11}	w_{1r}	w_{1c}	C_1

شکل ۳. نحوه‌ی نمایش جواب در الگوریتم‌ها.

زیاد شدن اندازه جمعیت بعدی، از معیار فاصله ازدحام استفاده می‌شود. در شکل ۳ نحوه‌ی نمایش جواب X^i در هر دو الگوریتم نشان داده شده است. در شکل ۳ هر جواب به صورت یک ماتریس نمایش داده می‌شود که تعداد سطرها برابر با تعداد محصولات (I) و تعداد ستون‌ها برابر با $1 + 3c$ است. همچنین برای بررسی محدودیت‌ها و دست‌یابی به جواب‌های موجه، از روش جریمه استفاده شده است.

۲.۴. انتخاب والد

از عملگر انتخاب مسابقه‌ی دو دویی برای انتخاب والدین و ایجاد جمعیت فرزندان استفاده می‌شود. بدین صورت که ابتدا دو جواب به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند، سپس جوابی که جواب دیگر را مغلوب کند به‌عنوان والد انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر، جوابی که رتبه‌ی کم‌تری دارد والد محسوب می‌شود. اگر دو جواب انتخاب شده نتواند همدیگر را مغلوب کنند (رتبه‌ی یکسان داشته باشند)، جوابی که فاصله‌ی ازدحام بیشتری دارد به‌عنوان والد انتخاب می‌شود.

۳.۴. تقاطع

از آنجا که فضای جواب پیوسته است، از عملگر تقاطع حسابی^{۱۲} استفاده می‌شود. پس از انتخاب والدین، عملگر تقاطع برای هر سطر از ماتریس به‌کار گرفته می‌شود. بدین منظور فرض کنید دو والد $X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$ و $X_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ انتخاب شده‌اند، اگر بردار $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ به طوری که $0 \leq \alpha_i \leq 1$ انتخاب شده‌اند، از طریق رابطه‌ی 1^0 ایجاد می‌شوند.

$$y_{1i} = \alpha_i x_{1i} + (1 - \alpha_i) x_{2i}, \quad i = 1, \dots, n$$

$$y_{2i} = \alpha_i x_{2i} + (1 - \alpha_i) x_{1i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (1^0)$$

۴.۴. جهش

عملگر جهش برای جوابی که به‌طور تصادفی انتخاب شده اعمال می‌شود. بدین ترتیب، برای هر سطر از ماتریس جواب یکی از سلول‌ها به‌طور تصادفی انتخاب شده و رابطه‌ی 1^1 به‌کار گرفته می‌شود.

$$x'_{1i} = x_{1i} + \beta \quad (1^1)$$

به طوری که β عدد تصادفی از بازه $(1^0, -1^0)$ است. پس از اعمال عملگر جهش، باید شرط موجه بودن جواب بررسی شود. الگوریتم فراابتکاری NRG A نیز یکی از الگوریتم‌های ژنتیک چندهدفه است که براساس مرتب‌سازی نامغلوب به بهینه‌سازی مسائل چندهدفه می‌پردازد. استفاده از چرخ رولت^{۱۳} در فرایند انتخاب والد باعث شده سرعت هم‌گرایی این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های مشابه بیشتر باشد. مراحل این الگوریتم مشابه با NSGA-II است با این تفاوت که ابتدا برای هر مجموعه پارتو، یک ضریب احتمال براساس رابطه‌ی 1^2 تخصیص داده می‌شود. با در نظر

مساوی صفر ($t = 0$) قرار دهید.

گام ۲. در صورت عدم برقراری شرط توقف، به P_t بازگردید.

گام ۳. با استفاده از عملگر انتخاب مسابقه‌ی دودویی^{۱۰}، N والد از جمعیت P_t انتخاب کنید.

گام ۴. با اعمال عملگرهای تقاطع و جهش روی جمعیت P_t ، جمعیت فرزندان Q_t را به‌اندازه N ایجاد کنید.

گام ۵. $R_t = P_t \cup Q_t$ را در نظر بگیرید.

گام ۶. از روش رتبه‌بندی نامغلوب برای تعیین مجموعه‌های پارتو^{۱۱} $F_i, i = 1, 2, \dots$ در جمعیت R_t استفاده کنید.

گام ۷. قرار دهید $P_{t+1} = \phi$ و $i = 1$.

گام ۸. تا زمانی که $|P_{t+1}| + |F_i| < N$:

الف) جواب‌های مجموعه‌ی F_i را به جمعیت P_{t+1} اضافه کنید.

ب) قرار دهید $i = i + 1$.

گام ۹. جواب‌های مجموعه‌ی F_i را براساس فاصله‌ی ازدحام و به صورت نزولی مرتب کنید.

گام ۱۰. به‌اندازه‌ی $N - |P_{t+1}|$ از اولین جواب‌های F_i به جمعیت P_{t+1} انتقال دهید.

گام ۱۱. قرار دهید $t = t + 1$ و به گام ۲ بازگردید.

در روش رتبه‌بندی نامغلوب ابتدا، تعدادی از جواب‌های نامغلوب به دست آمده در جمعیت که توسط هیچ جواب نامغلوب دیگری مغلوب نمی‌شود، به مجموعه‌ی F_1 منتقل می‌شود. بنابراین، این جواب‌ها رتبه‌ی اول را کسب می‌کنند. سپس جواب‌های نامغلوب باقی‌مانده از جمعیت که فقط توسط جواب‌های مجموعه‌ی F_1 مغلوب می‌شوند، به مجموعه‌ی F_2 منتقل شده و رتبه‌ی دوم را کسب می‌کنند. این روند برای همه جواب‌های نامغلوب جمعیت ادامه دارد.

۱.۴. فاصله‌ی ازدحام

هدف از به‌کارگیری فاصله‌ی ازدحام، ایجاد تنوع در جواب‌های جمعیت بوده و نشان‌دهنده‌ی میزان تراکم جواب‌ها در کنار یک جواب مشخص است. فاصله‌ی ازدحام برای جواب‌های مرتب‌شده به صورت صعودی و مختص به مجموعه‌ی F از رابطه‌ی ۹ به دست می‌آید:

$$CD(X^1) = CD(X^S) = \infty,$$

$$CD(X^i) = \left[\frac{Z_1(X^{i+1}) - Z_1(X^{i-1})}{Z_1(X^S) - Z_1(X^1)} \right] + \left[\frac{Z_2(X^{i+1}) - Z_2(X^{i-1})}{Z_2(X^S) - Z_2(X^1)} \right], \quad i = 2, \dots, s - 1, \quad (9)$$

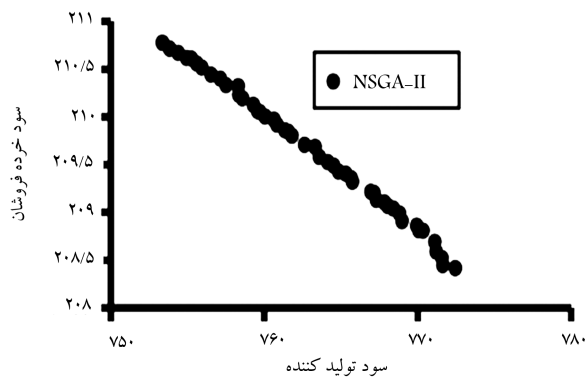
که در آن $CD(X^i)$ میزان فاصله‌ی ازدحام برای جواب X^i است. پس از ادغام جمعیت والدین و فرزندان، مرتب‌سازی نامغلوب انجام، و گام‌های ۷ و ۸ اجرا می‌شود. براساس گام ۱۰ برای ایجاد یک زیرمجموعه از آخرین مجموعه‌ی نامغلوب و به علت

روش‌های رایج در تنظیم پارامتر الگوریتم‌های فراابتکاری بر مبنای پارتو است -- تعیین شده است. هریک از الگوریتم‌های پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB ۲۰۰۹a اجرا شده‌اند. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها، معیارهای زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- زمان محاسبات.
- تعداد جواب‌های نامغلوب در مجموعه پارتو به دست آمده برای هر مسئله در هر مرحله.
- پوشش مجموعه: معیار پوشش مجموعه $C(A, B)$ ، نسبت جواب‌هایی از مجموعه B را که به صورت ضعیف توسط جواب‌هایی از مجموعه A مغلوب می‌شوند، محاسبه می‌کند.
- فاصله‌گذاری: نشان دهنده‌ی میزان استقرار یکنواخت جواب‌ها در کنار هم است. الگوریتمی که در آن میزان این معیار کم‌تر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود.
- بیشترین گسترش: این معیار نشان می‌دهد که چه میزان از جواب‌های یک مجموعه‌ی پارتو در فضای جواب توزیع شده‌اند. بزرگ‌تر بودن مقدار این معیار، نشان دهنده‌ی تنوع مناسب جواب‌های مجموعه‌ی پارتو است.

برای حل هر مسئله، هر دو الگوریتم طی ۲۰ آزمایش و به‌طور مستقل اجرا می‌شود. در انتهای هر آزمایش، معیارهای فوق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت، میانگین نتایج ارزیابی معیارها طی ۲۰ آزمایش بررسی می‌شود (جدول ۲). با بررسی نتایج به دست آمده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد خرده‌فروشان، زمان محاسبات الگوریتم NSGA-II بیشتر از NRG A شده، و نیز در رعایت معیار بیشترین گسترش، الگوریتم NRG A عملکرد بهتری داشته است. نمودار پارتو به دست آمده برای یکی از آزمایش‌های الگوریتم NSGA-II و الگوریتم NRG A برای مسئله‌ی با ۹ خرده‌فروش، به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

به‌منظور رتبه‌بندی الگوریتم‌ها از منظر کارایی برای حل هر مسئله، می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرد. در این نوشتار از روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW) [۱۴] استفاده شده است. بدین منظور هر معیار ارزیابی به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری، و الگوریتم‌ها به‌عنوان گزینه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. در این صورت می‌توان ماتریس تصمیم‌گیری را برای هر مسئله تشکیل داد. با بی‌مقیاس‌سازی نتایج در هر معیار، و با یکسان در نظر گرفتن اهمیت معیارها، رتبه‌ی هر الگوریتم در هر مسئله به دست آمده است (جدول ۳). چنان‌که مشاهده می‌شود برای مسائلی که در آن تعداد خرده‌فروشان برابر سه و چهار است، الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری



شکل ۴. نمودار پارتو الگوریتم NSGA-II برای مسئله $n = 9$.

گرفتن احتمالات تخصیص داده شده، مجموعه‌ی انتخاب می‌شود؛ مجموعه‌ی که رتبه‌ی کم‌تری دارد احتمال انتخابش بیشتر است. [۱۵] سپس از مجموعه‌ی انتخاب شده، والدین انتخاب می‌شوند.

$$p_k = \frac{\frac{1}{Rank_k}}{\sum_k \frac{1}{Rank_k}} \quad (12)$$

در رابطه‌ی ۱۲ p_k و $Rank_k$ به ترتیب بیان‌گر احتمال انتخاب و رتبه‌ی مجموعه k است. با این فرض که مجموعه‌ی F انتخاب شده، باید یک والد از این مجموعه انتخاب کرد. به هر جواب مجموعه‌ی F یک مقدار احتمال براساس رابطه‌ی ۱۳ تخصیص می‌یابد. براین اساس، جوابی که فاصله‌ی ازدحام بیشتری دارد، احتمال انتخابش بیشتر است.

$$p_i = \frac{CD_i}{\sum_i CD_i} \quad (13)$$

در رابطه‌ی ۱۳، p_i بیان‌گر احتمال انتخاب جواب نامغلوب i است.

۵. مثال عددی

برای ارزیابی عملکرد NRG A و NSGA-II در حل مدل ارائه‌شده، شش مسئله به صورت دومحصولی همراه با تعداد خرده‌فروشان (n) مختلف طراحی می‌شود. در این مسائل، تعداد خرده‌فروشان در نظر گرفته شده عبارت‌اند از $n = 3, 4, 5, 7, 9, 11$. مقدار پارامترهای هر مسئله به‌طور تصادفی و با توزیع یکنواخت براساس فاصله‌های تعیین شده در جدول ۱ است. مقدار پارامترهای NSGA-II و NRG A عبارت‌اند از:

- تعداد تکرار = ۵۰۰
- اندازه جمعیت = ۵۰
- احتمال رخداد تقاطع = ۰/۷۶
- احتمال رخداد جهش = ۰/۱۲

از آنجا که هر ترکیبی از پارامترهای فوق منجر به نتایج مختلف می‌شود، [۱۶] مقدار پارامترهای فوق به صورت سعی و خطا و براساس بهترین مقدار مشاهده شده -- که از

جدول ۱. فاصله مقدارگیری پارامترهای هر مسئله براساس توزیع یکنواخت.

پارامتر	بازه مقدارگیری
k_c	[۱۰۰۰, ۵۰۰۰]
e_c	[۱/۲, ۲/۴]
ζ_{ic}	[۳, ۷]
cm	[۱/۵, ۲/۵]
φ	[۲, ۴]
P	[۵۰۰, ۱۱۰۰]
S_i	[۲۰, ۵۰]
SR_c	[۲۰, ۷۰]
π_{ic}	[۲۰۰, ۵۰۰]
H_i	[۱, ۵]
h_{ic}	[۰/۵, ۳]

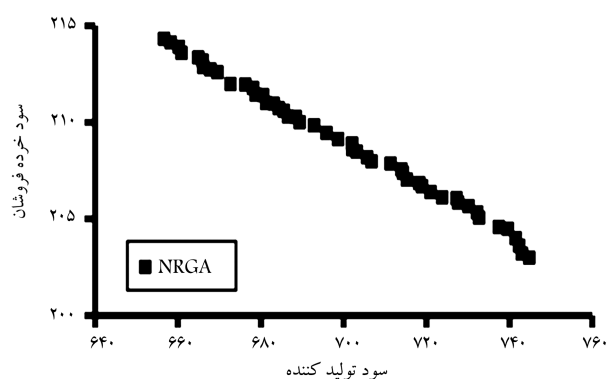
جدول ۲. میانگین نتایج به دست آمده از ارزیابی معیارها در ۲۰ آزمایش.

مسئله	الگوریتم	زمان محاسبات (ثانیه)	تعداد جواب نامغلوب	پوشش مجموعه C(A,B)	فاصله گذاری	بیشترین گسترش
n = ۳	NSGA-II	۱۱۲,۹۵۵	۴۸,۴	۰,۱۲	۰,۰۰۰۱	۰,۷۱۲
	NRGA	۹۸,۸۷	۴۹,۷	۰,۰۱	۰,۰۰۰۵	۱,۴۵۳
n = ۴	NSGA-II	۱۳۳,۲۶	۴۸,۰۹	۰,۲۶۴	۰,۰۰۰۴۲	۱۲۱,۱۰۵
	NRGA	۱۱۵,۷۸	۴۶,۱۶	۰,۰۱۵	۰,۲۲۷۵	۱۱۳,۱۰۹
n = ۵	NSGA-II	۱۵۹,۰۱	۴۹,۵۱	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۴۷	۱۷,۵۷۵
	NRGA	۱۵۴,۹۱	۴۶,۱۱	۰,۰۵۶	۰,۰۰۹۱۹	۲۹۲,۱۴۹
n = ۷	NSGA-II	۲۲۵,۳۳	۴۹,۰۱	۰	۰,۰۲	۶۷,۷۰۷
	NRGA	۲۰۲,۴۷	۴۸,۳۵	۰,۰۰۰۰۵	۰,۱۵۱۸	۴۷۶,۲۵۲
n = ۹	NSGA-II	۲۸۷,۲۵	۵۰	۰	۰,۰۱۵۱	۱۸۵,۶۱۷
	NRGA	۲۴۹,۶۶	۵۰	۰,۰۰۰۲	۰,۴۰۴۴	۹۴۳,۲۳۵
n = ۱۱	NSGA-II	۳۷۶,۱۷	۴۸,۰۲	۰	۰,۰۱۹	۳۳۱,۳۲۵
	NRGA	۲۹۸,۱	۵۰	۰,۰۰۰۱	۰,۲۱۵۱	۵۵۵,۰۱

است. [۱۷] سود تولیدکننده (z_1) و سود خرده فروشان (z_2) با وزن های یکسان به عنوان شاخص های تصمیم گیری، و جواب های پارتو به عنوان گزینه های تصمیم گیری در نظر گرفته شده است. در آزمایش ۱، شاخص های بازار و کشسانی قیمت همه ی خرده فروشان یکسان فرض شده و سایر آزمایش ها نسبت به این آزمایش مقایسه می شوند. آزمایش های ۲، ۳، ۴ و براساس آزمایش ۱ برای تحلیل حساسیت تعداد محصولات طراحی شده اند. چنان که پیداست، با افزایش تعداد محصولات مقدار سود تولیدکننده و خرده فروشان افزایش یافته است. در آزمایش ۵، با افزایش شاخص های بازار خرده فروشان باعث افزایش سود تولیدکننده و کاهش سود خرده فروشان شده به طوری که سود تولیدکننده در الگوریتم NSGA-II از ۵۴۶/۵۱ واحد پولی در آزمایش ۱، به ۹۱۳/۰۷ واحد پولی و همچنین در الگوریتم NRGA از ۵۵۹/۴۸ واحد پولی به ۹۲۸/۶۳ واحد پولی افزایش یافته است. آزمایش ۶ برخلاف آزمایش ۵، منجر به کاهش سود تولیدکننده و افزایش سود خرده فروشان می شود. بر اثر اجرای آزمایش های ۵ و ۶ به نظر می رسد که افزایش شاخص های بازار با توجه به رابطه ی ۱ باعث افزایش تقاضای محصول می شود اما، برای سود تولیدکننده جنبه ی مثبت و برای سود خرده فروشان جنبه ی منفی دارد. اجرای آزمایش ۷ نشان می دهد که افزایش کشسانی قیمت خرده فروشی باعث کاهش سود تولیدکننده و خرده فروشان می شود که این کاهش سود برای تولیدکننده ملموس تر است. آزمایش ۸ نشان می دهد که کاهش کشسانی قیمت خرده فروشی باعث افزایش سود هر دو می شود اما -- برخلاف آزمایش ۷ -- این افزایش سود برای خرده فروشان ملموس تر است. اجرای آزمایش های ۷ و ۸ نشان می دهد که کشسانی قیمت خرده فروشی برای سود تولیدکننده و سود خرده فروشان جنبه ی منفی دارد.

۶. نتیجه گیری

در این نوشتار یک مدل غیرخطی دودسته برای یک زنجیره ی تأمین دوسطحی -- شامل یک تولیدکننده با ظرفیت تولید محدود و چندین خرده فروش -- براساس فرضیات سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده ارائه شد. در این پژوهش، برخلاف مطالعات پیشین، به پیشینه سازی یک پارچه و همزمان سود تولیدکننده و خرده فروشان



شکل ۵. نمودار پارتو الگوریتم NRGA برای مسئله n = ۹.

جدول ۳. رتبه بندی الگوریتم ها برای هر مسئله.

الگوریتم	n = ۳	n = ۴	n = ۵	n = ۷	n = ۹	n = ۱۱
NSGA-II	۱	۱	۲	۲	۲	۲
NRGA	۲	۲	۱	۱	۱	۱

دارد اما با افزایش تعداد خرده فروشان، الگوریتم NRGA کاراتر از NSGA-II بوده و در نتیجه رتبه ی اول را به دست می آورد.

۱.۵. تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مدل، مسئله ی اول با سه خرده فروش ($n = ۳$) در نظر گرفته می شود. به دلیل وابسته بودن نرخ مصرف به شاخص بازار و کشسان بودن قیمت خرده فروشی، تحلیل حساسیت براساس این پارامترها طراحی شده و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

شاخص های بازار (k_c) و کشسانی قیمت خرده فروشی (e_c) در آزمایش های مختلف و مستقل از هم تحلیل شده و بهترین مقدار توابع هدف به دست آمده از الگوریتم ها مورد بررسی قرار می گیرد. برای انتخاب بهترین مقدار توابع هدف (رتبه ی اول) از بین جواب های پارتو الگوریتم ها، از روش تاپسیس^{۱۵} استفاده شده

جدول ۴. نتایج تحلیل حساسیت.

NRGA		NSGA-II		پارامتر	آزمایش
z_2	z_1	z_2	z_1		
۲۶۹,۳۴	۵۵۹,۴۸	۲۵۴,۹۲	۵۴۶,۵۱	$k_c = 3000, e_c = 1/8$	۱
۲۶۴,۲۶	۲۸۳۱,۱۱	۲۵۱,۹۳	۲۳۹۸,۴۴	$I = 5$	۲
۲۱۱۱,۰۹	۴۰۰۴,۵۳	۱۹۰۳,۳۶	۳۹۹۷,۷۴	$I = 10$	۳
۳۲۲۰,۵۵	۹۴۱۳,۱۴	۲۹۹۷,۲۲	۹۱۰۴,۱۷	$I = 20$	۴
۱۳۳,۵۸	۹۲۸,۶۳	۱۲۱,۸۱	۹۱۳,۰۷	$k'_c = +25k_c$	۵
۲۸۵,۴۱	۳۱۱,۳۴	۲۷۹,۱۹	۲۹۸,۳۱	$k'_c = -25k_c$	۶
۹۸,۳۳	۲۲۸,۷۵	۹۷,۸۱	۲۱۵,۴۹	$e'_c = +15e_c$	۷
۱۳۷۹,۲۹	۶۶۱,۰۷	۱۲۱۰,۲۵	۶۴۱,۹	$e'_c = -15e_c$	۸

بهبتری نسبت به الگوریتم NSGA-II خواهد داشت. در تحقیقات آینده نیز می‌توان به در نظر گرفتن چندین دوره‌ی برنامه‌ریزی و همچنین مقایسه‌ی سایر الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه با الگوریتم‌های ارائه شده در این نوشتار اشاره کرد.

پرداخته شد. برای دستیابی به این امر، دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه برای حل شش مسئله با تعداد خرده‌فروشان مختلف ارائه شد. نتایج حاصل از حل این شش مسئله حاکی از آن است که با افزایش تعداد خرده‌فروشان، الگوریتم NRGA عملکرد

پانوشته‌ها

1. vendor managed inventory
 2. Stackelberg game
 3. win-win
 4. market scale
 5. price elasticity
 6. Cobb-Douglas
 7. non-dominated sorting genetic algorithm- II (NSGA-II)
 8. non-dominated ranking genetic algorithm (NRGA)
 9. crowding distance
 10. binary tournament selection
 11. Pareto
 12. arithmetic crossover
 13. Roulette wheel
 14. simple additive weighting
 15. TOPSIS
- منابع (References)**
1. Yao, Y., Evers, P. and Dresner, M. "Supply chain integration in vendor-managed inventory", *Decision Support Systems*, **43**(2), pp. 663-674 (2007).
 2. Darwish, M.A. and Odah, O.M. "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains", *European Journal of Operational Research*, **204**(3), pp. 473-484 (2010).
 3. Guan, R. and Zhao, X. "On contracts for VMI program with continuous review (r,Q) policy", *European Journal of Operational Research*, **207**(2), pp. 656-667 (2010).
 4. Çetinkaya, S. and Chung, Y.L. "Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems", *Management Science*, **46**(2), pp. 217-232 (2000).
 5. Yuang, Y., Liang, L. and Huang, G. "Leader-follower game in vendor-managed inventory system with limited production capacity considering wholesale and retail prices", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, **9**(4), pp. 335-350 (2006).
 6. Zhang, T., Liang, L., Yu, Y. and Yu, Y. "An integrated vendor-managed inventory model for a two-echelon system with order cost reduction", *Int. J. Production Economics*, **109**(2), pp. 241-253 (2007).
 7. Yu, Y., Chu, F. and Chen, H. "A stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor", *European Journal of Operational Research*, **192**(3), pp. 929-948 (2009).
 8. Yu, Y., Huang, G.Q. and Liang, L. "Stackelberg game-theoretic model for optimizing advertising, pricing and inventory policies in vendor managed inventory (VMI) production supply chains", *Computers & Industrial Engineering*, **57**(1), pp. 368-382 (2009).
 9. Almeddawe, E. and Mantin, B. "Vendor managed inventory with a capacitated manufacturer and multiple retailers: Retailer versus manufacturer leadership", *Int. J. Production Economics*, **128**(1), pp. 292-302 (2010).
 10. Chen, L.-T. and Yeh, C.-Y. "Optimal pricing and replenishment for deteriorating items in B2B electronic markets", *Education and Management, Communications in*

- Computer and Information Science*, Springer Berlin Heidelberg, **210**, pp. 599-604 (2011).
11. Yu, Y., Wang, Z. and Liang, L. "A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products", *International Journal of Production Economics*, **136**(2), pp. 266-274 (2012).
 12. Ramkumar, N., Subramanian, P., Narendran, T.T. and Ganesh, K. "Mixed integer linear programming model for multi-commodity multi-depot inventory routing problem", *OPSEARCH*, **49**(4), pp. 413-429 (2012).
 13. Hariga, M., Gumus, M., Daghfous, A. and Goyal, S.K. "A vendor managed inventory model under contractual storage agreement", *Computers & Operations Research*, **40**(8), pp. 2138-2144 (2013).
 14. Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L.L., Liang, L. and Chu, C. "Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system", *European Journal of Operational Research*, **225**(2), pp. 273-284 (2013).
 15. Moradi, E., Ghomi, S.M.T.F. and Zandieh, M. "Bi-objective optimization research on integrated fixed time interval preventive maintenance and production for scheduling flexible job-shop problem", *Expert Systems with Applications*, **38**(6), pp. 7169-7178 (2011).
 16. Chambari, A., Rahmati, S.H.A., Najafi, A.A. and karimi, A. "A bi-objective model to optimize reliability and cost of system with a choice of redundancy strategies", *Computers & Industrial Engineering*, **63**, pp. 109-119 (2012).
 17. Karimi-Nasab, M. and Ioannis, K. "A random search heuristic for a multi-objective production planning", *Computers & Industrial Engineering*, **62**, pp. 479-490 (2012).