پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

مدل تولید-موجودی چندمحصولی فازی با کمبود، دوباره‌کاری و محدودیت های نرخ تولید محدود، فضای انبار و سرمایه و حل آن به‌وسیله الگوریتم‌های فرا ابتکاری

میثم جعفری اسکندری[1*]، رضا ابراهیمی[2]، احسان ملائی[3]

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، عسلویه، ایران
۳- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۲

چکیده

مدیریت موجودی سازمان و برنامه‌ریزی برای تولید محصولات ازجمله وظایف ضروری هر سازمان تولیدی است. در این مقاله، مدل تولید-موجودی کمبوددار برای تعیین مقدار بهینه موجودی در شرکت‌های تولیدی چند کالایی در هنگام غیرقطعی بودن تقاضا گسترش یافته است. هدف این مسئله بیشینه‌سازی کل سود شرکت با در نظر گرفتن هزینه‌های موجودی اعم از هزینه نگهداری مواد اولیه و نهایی، سفارش، کمبود به‌صورت سفارش عقب‌افتاده و فروش ازدست‌رفته و خرید است که یک مدل غیرخطی را به وجود می‌آورد. در این مسئله، دوباره‌کاری اقلام معیوب و محدودیت‌های نرخ تولید محدود، فضای انبار و سرمایه نیز در نظر گرفته شده است. برای حل مشکل نادقیق بودن داده‌های ورودی به سیستم از نظریه مجموعه‌های فازی استفاده شده است. مدل ارائه‌شده با استفاده از روش ترکیبی زنبورعسل، پارتو و ویکور حل شده است. نتایج نشان می‌دهد تولید محصولات به میزان تعیین‌شده در

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Meisam_jafari@pnu.ac.ir

چنین شرایطی، به‌صورت همزمان بیشینه سود و کمینه هزینه را برای شرکت تولیدی به ارمغان خواهد آورد.

کلیدواژه‌ها: مدل تولید؛ موجودی چندکالایی؛ کمبود؛ نظریه مجموعه فازی؛ الگوریتم زنبورعسل؛ منطق پارتو؛ ویکور.

۱- مقدمه

مسئله افزایش سود ازجمله اهداف راهبردی هر شرکت تولیدی به شمار می‌آید. یکی از روش‌های افزایش سود، کاهش هزینه‌های اضافیست که شرکت تولیدی متحمل آن است. برای نیل به هدف کاهش هزینه، بایستی از منابع به گونه‌ای مؤثر استفاده شود. اولین کار برای کاهش هزینه‌ها، تمرکز شرکت روی خرید مواد اولیه و تسهیلات برای شرکت است [۱]. در بخش ساخت و تولید، هنگامی‌که کالاها به‌جای خرید از منابع خارج از سازمان در داخل سازمان تولید شود، معمولاً از مدل‌های مقدار تولید اقتصادی[1] (EPQ) برای تعیین مقدار بهینه تولید استفاده می‌شود. معمولاً در مدل EPQ، بر اساس شرایط واقعی، محدودیت‌های نرخ تولید، خرابی دستگاه‌ها، محصولات معیوب تولیدشده توسط دستگاه‌ها و مسائلی از این قبیل نیز به مدل اضافه می‌شود. حجی و همکاران راه‌حل بهینه‌ای را برای موجودی در مدل EPQ تک ماشینی ارائه کردند که در آن خرابی ماشین نیز در نظر گرفته شد [۲]. پال و همکاران یک مدل ریاضی EPQ با تقاضای تصادفی در سیستم تولیدی محصولات ناقص و ناکامل ارائه کردند [۳]. سارکارا و همکاران یک مدل مقدار تولید اقتصادی با نرخ خرابی تصادفی، فرآیند دوباره‌کاری و کمبود به‌صورت سفارش عقب‌افتاده برای یک سیستم تولیدی یک مرحله‌ای ارائه دادند [۴]. چان و همکاران یک مدل تولید-موجودی ادغامی را برای کالاهای خراب‌شدنی با در نظر گرفتن نرخ تولید به‌عنوان یک متغیر تصمیم و در نظر گرفتن خرابی کالا در حین تحویل معرفی کردند و در آن تأثیر عوامل مختلف بر روی هزینه کل سیستم و دوره تولید را موردبررسی قرار دادند [۵]. آذر و همکاران یک

1. Economic Production Quantity

مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عددصحیح مختلط چند دوره‌ای را برای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار و تخصیص کالا به آنان و تعیین میزان بهینه قطعات و محصولات در یک زنجیره تأمین حلقه بسته توسعه دادند [۶].

امروزه، شرکت‌ها در جهت افزایش سوددهی خود، معمولاً دست به تولید چندین محصول که در یک خانواده محصول قرار دارند، می‌زنند. محصولاتی در یک خانواده محصول قرار می‌گیرند که دارای مراحل ساخت یکسان باشند؛ یعنی برای تولید این محصولات نیاز به تعویض دستگاه یا تغییر مراحل تولید نباشد و حداکثر با تغییر یک قالب بتوان محصول دیگری را تولید کرد [۷]. بیورک یک مدل EPQ با نرخ تولید محدود برای حالت چندکالایی ارائه داد [۸]. منصوری و همکاران مسئله طراحی زنجیره چابک سه‌سطحی و دوره‌ای را در شرایط وابستگی تقاضا به قیمت و تصمیم‌گیری همزمان برنامه‌ریزی تولید و قیمت‌گذاری در سیستم چندمحصولی موردبررسی قرار دادند. آن‌ها یک مدل غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح با هدف حداکثرسازی سود زنجیره برای مسئله ارائه دادند [۹].

با توجه به وجود شرایط غیرمطمئن در بازارها، نمی‌توان مقادیر دقیق برای متغیرهایی مثل زمان دوره، زمان تدارک، هزینه سفارش دهی، مقدار تقاضا و برخی متغیرهایی دیگر در نظر گرفت. لذا می‌توان از مقادیر تقریبی و مفاهیم غیردقیق مانند منطق فازی برای رفع این مشکل استفاده کرد [۱۰]. کاظمی و همکاران به ارائه یک مدل جدیدی از مدل‌های کنترل موجودی EPQ چندکالایی با تقاضای فازی تصادفی در شرایط مجاز بودن کمبود موجودی به‌صورت سفارش معوقه و محدودیت فضای انبار پرداختند [۱۱].

برخی از پژوهشگران از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مدل‌های پیچیده کنترل موجودی استفاده نموده‌اند. صادقی و همکاران یک مدل ترکیبی از مدیریت فروش موجودی[1] (VMI) و مسئله حمل‌ونقل را در سیستم مدیریت زنجیره تأمین[2] (SCM) با تقاضای فازی بررسی کرده و از روش الگوریتم زنبورعسل و روش بهینه‌سازی

1. Vendor Management Inventory
2. Supply Chain Management

ازدحام ذرات[1] (PSO) بهبودیافته برای حل مدل استفاده کردند [۱۲]. بونیا و همکاران یک مدل تولید-موجودی ادغامی بخشی با کمبود جزئی و با مقادیر هزینه‌ای موجودی بازه‌ای، تقاضای متغیر و قابلیت اطمینان انعطاف‌پذیر ارائه دادند و برای حل آن از الگوریتم PSO با عامل ساخت استفاده کردند [۱۳]. کندو و همکاران یک مدل تولید-موجودی با تخفیف در قیمت و تقاضای فازی توسعه دادند و یک الگوریتم ابتکاری از ترکیب دو الگوریتم PSO و ژنتیک برای حل آن پیشنهاد نمودند [۱۴]. اکبری یک سیستم کنترل موجودی و تولید در شرایط بحران و عدم قطعیت تقاضا معرفی نمود. او یک مدل ریاضی عدد صحیح غیرخطی برای مسئله ارائه نمود و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده کرد [۱۵].

در این مقاله، یک مدل تولید-موجودی ادغامی چندمحصولی جدید با در نظر گرفتن شرایط کمبود، دوباره‌کاری و محدودیت‌های سرمایه، زمان تولید و فضای انبار ارائه شده است. در این مدل، تقاضای محصولات نهایی به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است و در آن فرض می‌شود که در طول فرآیند تولید، بخشی از محصولات معیوب تشخیص داده می‌شوند و نیاز به دوباره‌کاری دارند. برای حل این مدل، یک رویکرد نوین ترکیبی بهینه‌سازی پارتو با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری و ویکور[2] ارائه شده است.

در بخش دوم این مقاله، فرضیات و نمادهای مدل ارائه شده است و در بخش سوم، مدل ریاضی مسئله وجود دارد. در بخش چهارم، حل مدل با استفاده از یک روش فرا ابتکاری تشریح شده است و نتایج محاسباتی در بخش پنجم بیان شده است. در بخش ششم، نتیجه‌گیری نهایی وجود دارد.

۲- فرضیات و نمادها

فرضیات مدل ارائه‌شده به شرح زیر است:

۱- چندین محصول برای تولید وجود دارد (مسئله چندمحصولی است)؛

1. Particle Swarm Optimization
2. Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)

۲- متغیرهای تصمیم به‌صورت اعداد صحیح هستند؛

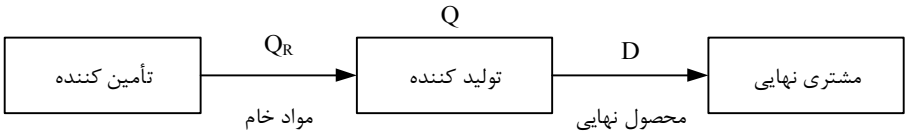
۳- محدودیت¬های سرمایه، فضای انبار و زمان تولید وجود دارد؛

۴- تقاضای محصولات نهایی به‌صورت متغیر تصادفی فازی در نظر گرفته شده است؛

۵- تمام محصولات تولیدشده با یک نرخ قیمتی خاص فروخته می¬شوند. درواقع، برای یک محصول چندین قیمت وجود ندارد؛

۶- یک زنجیره برای تولید محصولات اعم از تـأمین‌کننـده، تولیدکننـده و مشـتری محصول نهایی وجود دارد که به‌صورت شکل ۱ است؛

۷- مواد خام با یک نرخ ثابت به محصول نهایی تبدیل می‌شـوند. یعنـی تمـام مـواد خام به محصول نهایی تبدیل نشده و تولید به‌صورت کاملاً صحیح انجام نمـی¬گیـرد. در اینجا α_j درصد از محصولات تولیدشده از محصول j ام معیـوب بـوده و نیـاز بـه دوباره‌کاری دارند و با یک‌بار دوباره‌کاری، محصول معیوب تبدیل به محصول سـالم شده و قابل‌فروش می‌شود و نیاز به دوباره‌کاری مجدد نیست؛



شکل ۱ زنجیره تأمین در مدل

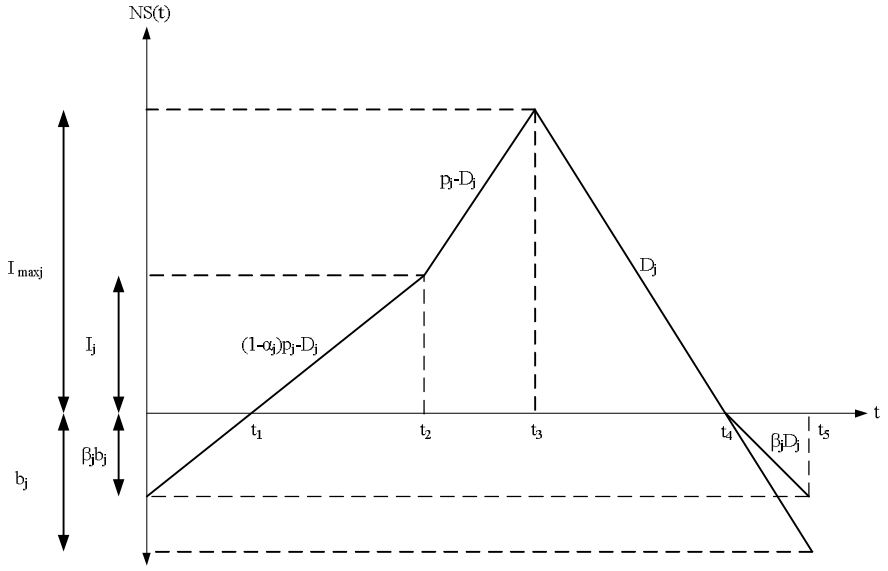
۸- درصدی از کمبود جبران می¬شود. یعنی تنها β_j درصد از کمبـود محصـول jام بـه‌صـورت سـفارش عقـب‌افتـاده جبـران شـده و بقیـه کمبـود بـه‌صـورت کمبـود غیرقابل‌جبران درنظر گرفته شده است.

در این قسمت نمادهایی برای مولفه ها و متغیرهایی که در مدل استفاده مـی‌شـوند، در نظر گرفته شده است که هرکدام به ترتیب در جـداول ۱ و ۲ بـا توجـه بـه شـکل ۲ توضیح داده شده‌اند.

تعداد دفعات سفارش یا تولید کالای j ام برابر با معکوس زمان کل موردنیاز برای تولید کالای موردنظر است؛ یعنی:

$$N_j = \frac{1}{T_j} \qquad (۱)$$

با توجه به اینکه در این مدل، محصولات معیوب نیز تولید می‌شوند، لذا مقداری از مواد اولیه معیوب شده و درنتیجه، مقدار آن باید بیشتر از محصول نهایی باشد. چون در هر دوره به‌اندازه $Q_j + \beta_j b_j$ واحد از هر محصول تولید می‌شود و ازآنجایی‌که فقط یک‌بار دوباره‌کاری انجام می‌گیرد، پس رابطه بین تعداد مواد اولیه و محصول نهایی به‌صورت زیر است:



شکل ۲ رفتار موجودی در طی زمان دوره

جدول ۱ تعریف مولفه‌ها

مدت‌زمان تولید و کمبود	t_1	هزینه کمبود هر واحد کالای محصول jام در واحد زمان	π_j
مدت‌زمان تولید و افزایش موجودی	t_2	هزینه هر واحد محصول jام	$\hat{\pi}_j$
مدت‌زمان دوباره‌کاری محصولات معیوب	t_3	تعداد دوره¬های تولیدی محصول jام	N_j
مدت‌زمان مصرف و کاهش موجودی	t_4	تعداد دوره¬های تولیدی کل محصولات	N
مدت‌زمان مصرف و کمبود	t_5	قیمت فروش هر واحد محصول jام	K_j
زمان سفارش محصول jام	t_j	فضای اشغالی توسط مواد خام محصول jام	f_j
زمان تولید در زمان عادی	t_p	حداکثر حجم انبار نگهداری محصولات نهایی	F_1
مدت‌زمان تولید محصول jام در یک دوره برابر مجموع t_1 تا t_5	T_j	حداکثر حجم انبار برای نگهداری مواد خام	F_2
زمان دوره برای تولید تمام محصولات برابر $T = \sum_{j=1}^{m} T_j$	T	حداکثر سرمایه درگیر	X
نرخ تولید محصول jام	p_j	تعداد کالاهای تولیدشده توسط شرکت تولیدی	m
نرخ تقاضا محصول نهایی jام به‌صورت عدد فازی مثلثی	$\tilde{D}_j$	درآمد کل حاصل از فروش محصولات شرکت	TR
مقدار موجودی منتظره‌ی محصول jام	I_j	سود به‌دست‌آمده از فروش محصولات شرکت	Z
حداکثر سطح موجودی محصول jام	$I_{max\,j}$	هزینه کل سالیانه برای محصولات شرکت	TC
درصد کمبود قابل جبران محصول jام	β_j	هزینه کل نگهداری کل محصولات تولیدی	THC
درصد محصول تولیدی معیوب jام	α_j	هزینه نگهداری کل مواد خام خریداری‌شده	THC_R
انباشته موجودی محصول jام در زمان t	$NS_j(t)$	هزینه کل خرید مواد اولیه	TPC
هزینه هر بار سفارش دهی مواد خام محصول تولیدی jام	A_j	هزینه کل سفارش¬دهی مواد اولیه برای تولید	TOC
هزینه نگهداری هر واحد محصول نهایی jام در واحد زمان	h_j	هزینه کل راه¬اندازی برای تولید محصولات	TSC
هزینه نگهداری هر واحد از مواد خام محصول نهایی jام در واحد زمان	$\acute{h}_j$	هزینه کل دوباره¬کاری	TRC
هزینه خرید هر واحد محصول jام	c_j	هزینه کل سفارش عقب‌افتاده محصول نهایی	TBSC
هزینه راه‌اندازی برای تولید محصول jام	S_j	هزینه کل فروش ازدست‌رفته محصول نهایی	TLSC
هزینه دوباره¬کاری برای محصول jام	w_j		

جدول ۲ تعریف متغیرها

b_j	میزان کمبود منتظره‌ی محصول jام
Q_j	میزان تولید منتظره‌ی محصول jام
Q_{Rj}	میزان خرید مواد خام موردنیاز برای تولید محصول jام
Y_j	متغیر صفر و یک نشان‌دهنده میزان کمبود برای محصول jام

$$Q_{Rj} = \frac{Q_j + \beta_j b_j}{1-\alpha_j} \tag{۲}$$

مقادیر I_j و $I_{\max j}$ نیز به‌صورت زیر قابل‌محاسبه هستند:

$$I_j = ((1-\alpha_j)p_j - \tilde{D}_j)\frac{Q_j}{P_j} - \beta_j b_j \tag{۳}$$

$$I_{\max j} = I_j + \alpha_j(p_j - \tilde{D}_j)\frac{Q_j}{p_j} = (p_j - (1+\alpha_j)\tilde{D}_j)\frac{Q_j}{P_j} - \beta_j b_j \tag{۴}$$

زمان تولید، در زمان عادی، به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است:

$$t_j^p = \frac{Q_j}{p_j} \tag{۵}$$

شرط اینکه مقداری از کالا بتواند انبار شود این است که نرخ تولید کالای سالم بیشتر از نرخ تقاضا باشد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$((1-\alpha_j)p_j - \tilde{D}) \geq 0, (\forall j = 1,2,..., m) \tag{۶}$$

ازآنجایی‌که تولید محصولات توسط یک دستگاه انجام می‌گیرد، لذا باید شرط تولید تمام محصولات توسط یک دستگاه که در زیر اشاره شده است، برقرار باشد.

$$\sum_{j=1}^{m} \frac{\tilde{D}_j}{p_j} \le 1 \qquad (۷)$$

۳- توسعه مدل

در مدل ارائه‌شده در این مقاله، برای اولین بار یک سیستم تولید موجودی ادغامی چندمحصولی، با هر دو حالت کمبود با دوباره‌کاری فرآیندهای تولیدی و محدودیت‌های سرمایه، زمان تولید و فضای انبار، در شرایط عدم قطعیت تقاضا موردبررسی قرار گرفته است.

به‌منظور بیشینه‌کردن سود در مسئله موردنظر، مقدار کل هزینه‌های مدل از درآمد کل به‌صورت زیر کم می‌شود:

$$\text{Max } Z= TR - TC= TR - (TOC+THC+THC_R+TRC+TSC+TPC+TBSC+TLSC) \qquad (۸)$$

با استفاده از روابط اصلی $\bar{I}_j$، $\bar{I}_{Rj}$ و $\bar{b}_j$ خواهیم داشت:

$$\bar{I}_j = \frac{I_j{}^2((1+\alpha_j)p_j\tilde{D}_j - \tilde{D}_j) + I_{\max\ j}{}^2(p_j - p_j\tilde{D}_j - \alpha_j p_j{}^2)}{2((1-\alpha_j)p_j - \tilde{D}_j)(p_j - \tilde{D}_j)\tilde{D}_j} \qquad (۹)$$

که در آن I_j و Imax_j به ترتیب از روابط ۳ و ۴ به دست می‌آیند. به همین ترتیب نیز برای متوسط موجودی مواد اولیه در دست ($\bar{I}_{Rj}$) خواهیم داشت:

(۱۰)

$$\bar{I}_{Rj} = \frac{((1-\alpha_j)p_j - \tilde{D}_j)\frac{Q_{Rj}}{p_j} - \beta_j b_j)^2((1+\alpha_j)p_j\tilde{D}_j - \tilde{D}_j) + ((p_j - (1+\alpha_j)\tilde{D}_j)\frac{Q_{Rj}}{P_j} - \beta_j b_j)^2(p_j - p_j\tilde{D}_j - \alpha_j p_j{}^2)}{2((1-\alpha_j)p_j - \tilde{D}_j)(p_j - \tilde{D}_j)\tilde{D}_j}$$

که در آن Q_{Rj} از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. متوسط کمبود مجاز به‌صورت زیر به دست می‌آید:

(۱۱)

$$\bar{b}_j = \frac{\beta_j b_j t_j^1}{2} + \frac{\beta_j b_j t_j^5}{2} = \frac{(\beta_j b_j)^2}{2((1-\alpha_j)p_j - \widetilde{D}_j)} + \frac{\beta_j {b_j}^2}{2\widetilde{D}_j} = {b_j}^2 \left(\frac{{\beta_j}^2}{2((1-\alpha_j)p_j - \widetilde{D}_j)} + \frac{\beta_j}{2\widetilde{D}_j}\right)$$

۳-۱- درآمد حاصل از فروش محصولات (TR)

برای لحاظ کردن درآمد کل در مدل به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$Y_j = \begin{cases} 1 & : if, Q_j \le D_j \\ 0 & : if, Q_j > D_j \end{cases} \qquad (۱۲)$$

بدین ترتیب، درآمد کل (TR) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TR = \sum_{j=1}^{m} K_j Q_j Y_j + \sum_{j=1}^{m} K_j \widetilde{D}_j (1 - Y_j) \qquad (۱۳)$$

۳-۲- هزینه خرید مواد اولیه (TPC)

هزینه خرید مواد اولیه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TPC = \sum_{j=1}^{m} c_j Q_{Rj} = \sum_{j=1}^{m} c_j \left(\frac{Q_j + \beta_j b_j}{1 - \alpha_j}\right) \qquad (۱۴)$$

۳-۳- هزینه راه‌اندازی برای تولید (TSC)

هزینه راه‌اندازی تولید به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است:

$$TSC = \sum_{j=1}^{m} N_j S_j = \sum_{j=1}^{m} \frac{1}{T_j} S_j = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^{m} S_j = \sum_{j=1}^{m} S_j \frac{\widetilde{D}_j}{Q_j + (1-\beta_j) b_j} \qquad (۱۵)$$

۳-۴- هزینه دوباره‌کاری (TRC)

هزینه دوباره‌کاری کل در N دوره برابر است با:

$$TRC = N\sum_{j=1}^{m} w_j \alpha_j Q_j = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m} w_j \alpha_j Q_j = \sum_{j=1}^{m} w_j \frac{\alpha_j \tilde{D}_j Q_j}{Q_j + (1-\beta_j) b_j} \qquad (۱۶)$$

۳-۵- هزینه سفارش‌دهی مواد اولیه (TOC)

برای محاسبه هزینه سفارش دهی مواد اولیه خواهیم داشت:

(۱۷)

$$TOC = \sum_{j=1}^{m} N_j A_j = \sum_{j=1}^{m} \frac{1}{T_j} A_j = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m} A_j = \sum_{j=1}^{m} A_j \frac{\tilde{D}_j}{Q_{Rj} + (1-\beta_j) b_j} = \sum_{j=1}^{m} A_j \frac{(1-\alpha_j)\tilde{D}_j}{Q_j + \beta_j b_j + (1-\beta_j)(1-\alpha_j) b_j}$$

۳-۶- هزینه نگهداری محصولات نهایی (THC)

بر اساس مقدار موجودی هر کالا، هزینه نگهداری محصول نهایی به‌صورت زیر قابل‌محاسبه خواهد بود:

$$THC = N\sum_{j=1}^{m} h_j \bar{I}_j = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m} h_j \bar{I}_j = \sum_{j=1}^{m} \frac{h_j \tilde{D}_j}{Q_j + (1-\beta_j) b_j} \bar{I}_j \qquad (۱۸)$$

که در آن مقدار $\bar{I}_j$ از رابطه (۹) به دست می‌آید.

۳-۷- هزینه نگهداری مواد اولیه (THC_R)

هزینه نگهداری مواد اولیه بر اساس متوسط موجودی و در نظر گرفتن m محصول به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است:

$$THC_R = N\sum_{j=1}^{m} h'_j \bar{I}_{Rj} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m} h'_j \bar{I}_{Rj} = \sum_{j=1}^{m} \frac{h'_j \tilde{D}_j}{Q_{Rj} + (1-\beta_j) b_j} \bar{I}_{Rj} \qquad (۱۹)$$

که در آن مقدار $\bar{I}_{Rj}$ از رابطه (۱۰) جایگزین می‌شود.

۳-۸- هزینه کمبود به‌صورت سفارش عقب‌افتاده (TBSC)

هزینه کمبود به‌صورت سفارش عقب‌افتاده با در نظر گرفتن متوسط مقدار کمبود مجاز و انجام جمع بر روی m محصول، به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است:

$$TBSC = N\sum_{j=1}^{m}\pi_j\bar{b}_j = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m}\pi_j\bar{b}_j = \sum_{j=1}^{m}\frac{\pi_j\tilde{D}_j}{Q_j+(1-\beta_j)b_j}\bar{b}_j \qquad (۲۰)$$

که در آن مقدار $\bar{b}_j$ از رابطه (۱۱) جایگزین می‌شود.

۳-۹- هزینه کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته (TLSC)

برای محاسبه هزینه کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته داریم:

$$TLSC = N\sum_{j=1}^{m}\hat{\pi}_j(1-\beta_j)b_j = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{m}\hat{\pi}_j(1-\beta_j)b_j = \sum_{j=1}^{m}\frac{\hat{\pi}_j(1-\beta_j)\tilde{D}_j}{Q_j+(1-\beta_j)b_j}b_j \qquad (۲۱)$$

محدودیت‌هایی نیز در این مدل وجود دارد که در ادامه موردبررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱۰- محدودیت سرمایه

هزینه‌ای که از سوی شرکت تولیدی برای خرید مواد اولیه صرف می‌شود، باید کوچک‌تر یا مساوی با حداکثر سرمایه در دسترس شرکت تولیدی (X) باشد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^{m}c_jQ_{Rj} \le X \Rightarrow \sum_{j=1}^{m}c_j\frac{Q_j+\beta_jb_j}{1-\alpha_j} \le X \qquad (۲۲)$$

۳-۱۱- محدودیت فضای انبار

این محدودیت برای دو حالت محصول نهایی و مواد اولیه به وجود می‌آید. برای محصولات نهایی خواهیم داشت:

(۲۳)

$$\sum_{j=1}^{m} f_j I_{\max j} \leq F_1 \Rightarrow \sum_{j=1}^{m} f_j((p_j \quad (1+\alpha_j)\widetilde{D}_j)\frac{Q_j}{p_j} \quad \beta_j b_j) \leq F_1 \Rightarrow \sum_{j=1}^{m} Q_j(f_j \quad \frac{(1+\alpha_j)f_j\widetilde{D}_j}{p_j}) \quad f_j\beta_j b_j \leq F_1$$

همچنین برای مواد اولیه موردنیاز برای تولید محصولات داریم:

$$\sum_{j=1}^{m} f'_j I_{\max Rj} \leq F_2 \Rightarrow \sum_{j=1}^{m} f'_j((p_j - (1+\alpha_j)\widetilde{D}_j)\frac{Q_j + \beta_j b_j}{(1-\alpha_j)p_j} - \beta_j b_j) \leq F_2 \qquad (۲۴)$$

۳-۱۲- محدودیت زمان تولید

این محدودیت برای آن است که مجموع زمان‌های لازم برای تولید محصول j ام ($t_j^2 + t_j^3 + t_j^4$) و زمان‌های کمبود محصول j ام ($t_j^1 + t_j^5$) باید کوچکتر یا مساوی زمان دوره تولید محصول j ام باشد. با در نظر گرفتن m محصول خواهیم داشت:

(۲۵)

$$\sum_{j=1}^{m} t_j^2 + t_j^3 + t_j^4 + \sum_{j=1}^{m} t_j^1 + t_j^5 \leq \sum_{j=1}^{m} T_j \Rightarrow \sum_{j=1}^{m} \frac{I_j}{(1-\alpha_j)p_j - \widetilde{D}_j} + \alpha_j \frac{Q_j}{p_j} + \frac{I_{\max j}}{\widetilde{D}_j} + \sum_{j=1}^{m} \frac{\beta_j b_j}{(1-\alpha_j)p_j - \widetilde{D}_j} + \frac{b_j}{\widetilde{D}_j} \leq T$$

با قرار دادن روابط مربوط به I_j، $I_{\max j}$ و T در عبارت‌های بالا و پس از ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^{m} (1-\beta_j) b_j \geq 0 \qquad (۲۶)$$

این محدودیت بدان معناست که حداقل یکی از محصولات تولیدی باید دارای کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته باشند و نمی‌توان تمام تقاضاها را در این مدل برآورده کرد؛ چراکه زمان در دسترس برای تولید و برآورده کردن تقاضاها کافی نبوده و نمی‌توان تولید را طوری انجام داد که تقاضاها حتی به‌صورت سفارش به تعویق افتاده جبران شود.

با توجه به توضیحات داده‌شده، مدل توسعه داده‌شده در این مقاله را می‌توان در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی با تابع هدف بیشینه‌سازی معادل رابطه ۷ و محدودیت‌های کارکردی مطابق روابط ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۶ مدل‌سازی نمود. مسئله موردنظر با توجه به فرض دوم در بخش فرضیات مدل، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح است، که جواب بهینه آن در ابعاد کوچک با استفاده از رویکردهای حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل‌دستیابی است اما با توجه به غیرخطی بودن توابع هدف و محدودیت‌ها و عدد صحیح بودن متغیرهای تصمیم‌گیری، امکان حل بهینه مدل در ابعاد گسترده‌تر با ابزارهای موردبحث وجود ندارد و لازم است روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل آن مورداستفاده قرار گیرد.

۴- روش حل

با توجه به این‌که مدل ارائه‌شده یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی با متغیرهای عدد صحیح است، در ابعاد بزرگ بسیار پیچیده شده و رویه حل آن سخت میشود؛ لذا لازم است از روش‌های فرا ابتکاری برای حل آن استفاده شود. در این مقاله از روش ترکیبی الگوریتم زنبورعسل، پارتو و ویکور برای حل مدل ریاضی ارائه‌شده در قسمت قبل، استفاده شده است. روش حل بدین گونه است که با روش فازی‌زدایی یک برنامه‌ریزی سه‌هدفه به وجود می¬آید که برای هرکدام از این توابع مسئله را با روش الگوریتم زنبورعسل حل کرده و بر اساس منطق پارتو آن جواب¬هایی که در منطقه قابل‌قبول هستند، مشخص می‌شوند. در مرحله بعد، سه مقدار تابع هدف به‌عنوان معیارها و همچنین جواب‌های حاصل از آن به‌عنوان گزینه‌ها در نظر گرفته شده و با استفاده از روش ویکور به رتبه‌بندی جواب‌های به‌دست‌آمده پرداخته شده است.

الگوریتم زنبورعسل شامل فعالیت گروهی مبتنی بر الگوریتم جستجو است که اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط جانسون و همکاران توسعه یافت [۱۶]. این الگوریتم، شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبورعسل است و نوعی جستجوی محلی انجام می‌دهد که با جستجوی تصادفی ترکیب‌شده و می‌تواند برای بهینه‌سازی ترکیبی (زمانی که بخواهیم چند متغیر را همزمان بهینه کنیم) یا بهینه‌سازی تابعی به کار رود.

در ابتدا، مجموعه‌ای از منابع غذایی به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. زنبورهای کارگر به منابع مراجعه کرده و میزان شهد آن‌ها را محاسبه می‌کنند. سپس این زنبورها به کندو بازگشته و اطلاعات خود را با دیگر زنبورها (تماشاگران) به اشتراک می‌گذارند. در مرحله دوم و بعد از تبادل اطلاعات، هر زنبور کارگر به سمت منبعی می‌رود که قبلاً دیده است و ممکن است بر اساس اطلاعات دیداری که از محیط می‌گیرد، یک منبع جدید در همسایگی منبع قبلی انتخاب نماید. این چرخه تا برآورده شدن نیازها تکرار خواهد شد. در این مدل، در هر چرخه حداکثر یک پیش‌آهنگ وجود دارد و تعداد زنبورهای کارگر و تماشاگر برابر است [۱۷].

همان‌طور که گفته شد، هر یک از زنبورهای کارگر و تماشاگران ممکن است تغییراتی بر روی موقعیت منبع غذایی (راه‌حل) در حافظه خود ایجاد کند و شایستگی آن را محاسبه کنند. درصورتی‌که میزان شایستگی آن از راه‌حل قدیمی بیشتر باشد، راه‌حل جدید انتخاب می‌شود و راه‌حل قدیمی فراموش می‌شود، در غیر این صورت، بر همان راه‌حل قبلی باقی خواهد ماند [۱۸].

بعد از اتمام فرآیند جستجو، تماشاگران اطلاعات هرکدام از زنبورهای کارگر را ارزیابی می‌کنند و با یک احتمال که با میزان کیفیت شهد منبع متناسب است، یکی از منابع غذایی را انتخاب می‌کنند [۱۸]. درصورتی‌که یک منبع به پایان برسد و یا کیفیت یک منبع غذایی مناسب نباشد، زنبور کارگر آن‌ها را رها کرده و به یک پیش‌آهنگ تبدیل می‌شود. این رفتار درحالتی‌که شایستگی یک نقطه بعد از چندین تکرار بهبود نیابد، بدان معنی است که در یک بهینگی محلی قرار گرفته و بنابراین، آن نقطه حذف می‌شود و یک نقطه جدید به‌صورت تصادفی تولید می‌شود.

برای فازی‌زدایی مدل موردنظر از روش ارائه‌شده در مرجع [۱۹] استفاده شده است. بر اساس این روش، با در نظر گرفتن دو عدد فازی مثلثی $\widetilde{C}_i = (C_{i1}, C_{i2}, C_{i3})$

و $\tilde{a}_{ij}=(a_{ij1},a_{ij2},a_{ij3})$، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی به‌صورت زیر فازی زدایی می‌شود:

$$\begin{aligned}
&Max\ z=\sum_{i=1}^{n}\tilde{C}_i X_i \\
&S.t:\sum_{i=1}^{n}\tilde{a}_{ij}X_i\le b_j(\forall j: j=1,2,...,m)\Rightarrow \\
&X_i\ge 0
\end{aligned}
\qquad
\begin{aligned}
&Min\ z_1=\sum_{i=1}^{n}(C_{i2}-C_{i1})X_i \\
&Max\ z_2=\sum_{i=1}^{n}C_{i2}X_i \\
&Max\ z_3=\sum_{i=1}^{n}(C_{i3}-C_{i2})X_i \\
&S.t:\sum_{i=1}^{n}a_{ij1}X_i\le b_j(\forall j: j=1,2,...,m) \\
&\sum_{i=1}^{n}a_{ij2}X_i\le b_j(\forall j: j=1,2,...,m) \\
&\sum_{i=1}^{n}a_{ij3}X_i\le b_j(\forall j: j=1,2,...,m) \\
&X_i\ge 0
\end{aligned}
\qquad (۲۷)$$

در این مقاله برای رتبه‌بندی مقادیر به‌دست‌آمده از تابع هدف، از روش ویکور استفاده می‌شود. این روش اولین بار توسط آپریکوویچ و تزنگ در سال ۱۹۹۸ برای سیستم‌های پیچیده تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شد [۲۰]. هدف این روش تمرکز بر رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه از بدیل‌ها در مسئله‌ای با معیارهای متعارض است؛ این امر دررسیدن به راه‌حل بهینه و انتخاب بهترین گزینه کمک شایانی می‌کند. خروجی روش ویکور یک فهرست رتبه‌بندی توافقی به همراه یک یا چند راه‌حل توافقی است [۲۱].

۵- نتایج محاسباتی

در این بخش، مثالی برای اثبات درستی مدل ارائه می‌شود و نشان داده می‌شود که در دنیای واقعی نیز می‌توان از این مدل بهره‌برداری نمود. درصورتی‌که X=400000 برحسب واحد پولی [۲۲] و $F_1=F_2=50000$ برحسب مترمربع باشد [۲۳]، همچنین

با استفاده از داده‌های جدول ۳ می‌توان بر اساس روابط ارائه‌شده در بخش سوم، محاسبات لازم را انجام داد.

در این پژوهش، ابتدا بر اساس تابع هدف اول (Z_1) و محدودیت‌های مسئله و با استفاده از روش الگوریتم زنبورعسل در نرم‌افزار Matlab 2009، مدل حل‌شده و مقادیر به‌دست‌آمده برای متغیرهای b_j و Q_j ($j=1,2,3$) به‌عنوان گزینه اول برای روش ویکور در نظر گرفته شده است و مقدار تابع هدف آن نیز با همین روش به‌دست‌آمده است. با استفاده از مقادیر این متغیرها می‌توان مقدار Z_2 و Z_3 را برای گزینه اول با قرار دادن مقادیر متغیرها در فرمول توابع هدف به دست آورد. همین رویه برای تعیین گزینه‌های دوم و سوم به ترتیب بر اساس توابع هدف دوم (Z_2) و سوم (Z_3) تکرار می‌شود. درنهایت نیز با استفاده از روش ویکور بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

جدول ۳ مقادیر پارامترهای استفاده‌شده [۲۲]

	محصول اول	محصول دوم	محصول سوم
h_j (واحد پولی برای هر کالا در ماه)	۲	۴	۶
$\acute{h}_j$ (واحد پولی برای هر کالا در ماه)	۲	۴	۶
π_j (واحد پولی برای هر کالا در ماه)	۵	۷	۹
$\hat{\pi}_j$ (واحد پولی برای هر کالا در ماه)	۱	۳	۵
p_j (کالا در ماه)	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰
α_j (درصد از کل کالاها)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵
β_j (درصد از کل کمبودها)	۰/۵	۰/۵	۰/۵
A_j (واحد پولی برای هر بار سفارش)	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
c_j (واحد پولی برای هر کالا)	۳۴	۳۲	۳۰
S_j (واحد پولی برای هر بار راه‌اندازی)	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰
W_j (واحد پولی برای هر بار دوباره‌کاری)	۱۵	۱۴	۱۳
K_j (واحد پولی برای هر کالا)	۴۴	۴۲	۴۰
L_j (روز برای هر کالا)	۱	۱	۲
f_j (مترمربع برای هر کالا)	۵	۱۰	۵
$\acute{f}_j$ (مترمربع برای هر کالا)	۵	۱۰	۵
$\tilde{D}_j$ (کالا در ماه)	(۱۶۰،۱۵۰،۱۲۰)	(۲۱۰،۲۰۰،۱۹۰)	(۲۶۰،۲۵۰،۲۴۵)

مقادیر Q_j و b_j محاسبه‌شده برای هر سه محصول در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین در این جدول مقادیر توابع هدف نیز نمایش داده‌شده که به‌عنوان ماتریس تصمیم‌گیری روش ویکور مورداستفاده قرار می‌گیرد. ازآنجاکه روش زنبورعسل مقادیر اولیه را به‌صورت احتمالی و تصادفی انتخاب می‌کند، لذا در هر مرحله از اجرا، جواب‌های مختلفی ایجاد می‌شوند. بنابراین با استفاده از منطق پارتو، جواب‌هایی که در منطقه قابل‌قبول نباشند، حذف‌شده و تنها جواب‌های قابل‌قبولی که مقدار آن‌ها کمتر از نرخ تولید باشند، انتخاب‌شده و در محاسبات قرار می‌گیرند. در این جدول برای گزینه اول تا سوم، تابع Z_1، برای گزینه چهارم تا ششم، تابع Z_2 و برای گزینه هفتم تا نهمظف تابع Z_3 از طریق الگوریتم زنبورعسل به‌دست‌آمده‌اند و بقیه توابع از قرار دادن مقادیر متغیرها در فرمول موردنظرشان به‌دست‌آمده‌اند.

در این مرحله از محاسبات باید بهترین گزینه از بین گزینه‌های مطرح‌شده با توجه به معیارهای Z_1، Z_2 و Z_3 با استفاده از روش ویکور تعیین شود. روش فازی‌زدایی که در این پژوهش استفاده شده است، حالتی را به وجود آورده که تابع هدف Z_1 از نوع هزینه شده است؛ بنابراین، در اینجا باید به‌صورت معیار منفی (زیان) در نظر گرفته شود اما دو تابع دیگر از نوع سود بوده و در محاسبات به‌صورت معیار مثبت در نظر گرفته می‌شوند. وزن هر یک از این معیارها در رویکرد ویکور ارائه‌شده یکسان و برابر ۰/۳۳ در نظر گرفته شده است. با توجه به توضیحات فوق و مراحل روش ویکور می‌توان بهترین گزینه را انتخاب کرد و بر اساس آن، میزان تولید و مقدار کمبود مجاز را به دست آورد. در جدول ۵، نتایج حاصل از رتبه‌بندی بر اساس رویکرد ویکور نشان داده شده است. در این جدول، S_i نشان‌دهنده نسبت فاصله گزینه i ام از راه‌حل ایده آل مثبت و R_i بیانگر نسبت فاصله آن از راه‌حل ایده آل منفی است. همچنین Q_i مقدار ویکور و V_i وزن معیار حداکثر مطلوبیت گروهی را برای هر گزینه نشان می‌دهد. در این مقاله، مقدار V_i برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این جدول مشخص شده است که گزینه چهارم بهترین گزینه است. بنابراین، مقادیر حاصل از متغیرهای آن نیز به‌عنوان بهترین مقادیر اقتصادی تعیین می‌شوند. شکل ۳ روند بهبود مقدار تابع هدف Z_2 را در طول اجرای برنامه زنبورعسل در نرم‌افزار متلب برای گزینه چهارم، به‌عنوان بهترین مقدار انتخاب‌شده، نشان می‌دهد.

بدین ترتیب، نتایج حل مدل نشان می‌دهد که مقادیر Q_1=9991، Q_2=9994، Q_3=337، b_1=413، b_2=564 و b_3=-6886 و مقدار تابع هدف به‌صورت حداکثر سود برابر با ۶,۷۹۵,۷۱۳,۷۱۳,۵۹۷ واحد پولی می‌تواند به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شود. این در حالی است که طالعی زاده و همکاران با استفاده از همین مقادیر و در تحقیقی تقریباً مشابه به مقدار هزینه ۹۳۲,۴۰۰ واحد پولی رسیدند [۲۲]. این امر نشان می‌دهد که این پژوهش نسبت به مورد مشابه خود عملکرد بهتری داشته و توانسته هزینه را کاهش دهد. از طرفی، روش استفاده‌شده در این تحقیق علاوه بر کاهش هزینه، همزمان میزان سود شرکت را نیز بیشینه می‌کند. در جدول ۶ میزان سفارش هر یک از مواد خام بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده و رابطه نشان داده‌شده، ارائه شده است.

جدول ۴ مقادیر متغیرها و توابع هدف پس از حل مدل

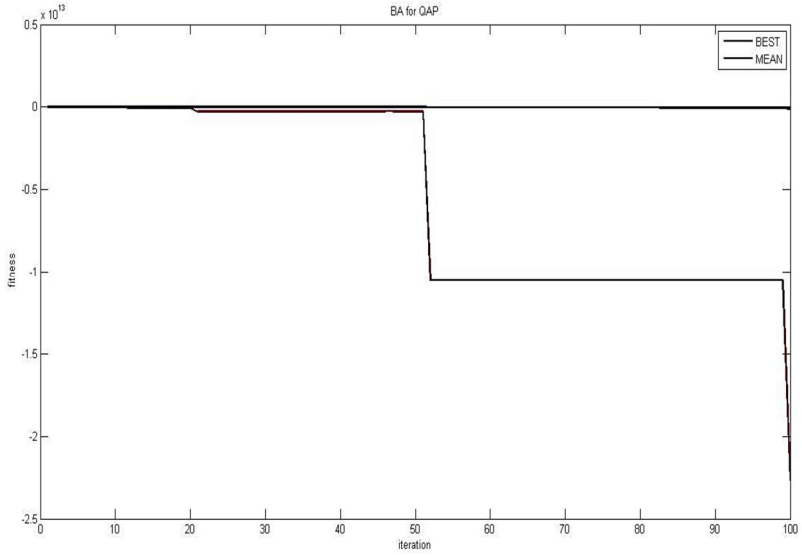
گزینه‌ها	Q_1	Q_2	Q_3	b_1	b_2	b_3	Y_1	Y_2	Y_3	Z_1	Z_2	Z_3
گزینه ۱	۹۹۹۸	۹۹۹۹	۹۹۹۹	-۸۰۴۱	-۹۰۵۴	-۸۵۲۰	۰	۰	۰	۱۰۷۱۲۶۷۷/۳	۱۵۲۰۱۵۹/۹	۲۱۸۳۶۷۵
گزینه ۲	۹۹۹۷	۹۹۹۸	۹۹۹۸	۵۵۴۵	-۶۶۸۹	-۷۲۰۹	۰	۰	۰	۱۰۷۷۲۹۸۸۸/۹۹	۱۷۷۷۰۴۰/۲	۱۹۷۱۵۵۷/۴
گزینه ۳	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۹۹۹۹	-۷۸۶۰	-۹۰۰۵	۸۶۹۸	۰	۰	۰	۱۰۷۱۳۰۰۵/۲۲	۱۵۲۲۶۹۲/۴	۱۴۱۳۷۴۶/۶
گزینه ۴	۹۹۹۱	۹۹۹۴	۳۳۷	۴۱۳	۵۶۴	-۶۸۸۶	۰	۰	۰	-۱۵۱۵۶۴۶۶۲/۳	۶۷۹۵۷۱۳۷۱۳۵۹۷	۱۴۱۳۷۴۶/۶
گزینه ۵	۹۹۹۹	۱۰۰۰۰	۳۷۳	۴۱۴	۵۲۴	-۷۶۰۸	۰	۰	۰	-۱۵۱۶۷۴۸۹۰/۲	۲۲۶۳۸۱۱۹۷۷۲۳۶	۱۴۳۲۶۸۳/۵
گزینه ۶	۱۰۰۰۰	۴۲۰	۳۵۶	۳۹۰	-۴۲۸۵	-۷۲۶۷	۰	۰	۰	-۱۵۲۰۲۵۳۱۶/۷	۶۶۴۷۸۵۸۵۵۵۳۷۷	۹۱۶۹۴۸/۳۷۵
گزینه ۷	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۳۶۲	۶۴۶	-۳۶۱۶	-۷۳۹۲	۰	۰	۰	-۱۵۳۳۵۱۸۲۸	۱۵۹۹۴۸۷/۴۶	۶۳۱۵۶۱۷۷۴
گزینه ۸	۷۵۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	-۷۶۵۰	۱۰۲۵	۵۰۰	۰	۰	۰	۴۷۵۲۶۰۷۰/۴۹	۱۴۴۴۸۶۱/۳۴	۲۹۴۷۸۶۸۶۷
گزینه ۹	۹۹۹۷	۷۶۴	۹۹۹۸	۶۱۴	-۷۸۰۰	۴۹	۰	۰	۰	-۱۵۳۱۲۸۲۱۱/۷	۱۵۳۳۴۸۵/۴۳	۸۸۲۴۷۴۸۲۲

۶- نتیجه‌گیری

در دنیای رقابتی امروز، شرکت‌ها برای افزایش سوددهی خود دست به تولید همزمان چندین محصول می‌زنند که در یک خانواده قرار دارند تا بدین ترتیب بتوانند تنوع محصولات خود را افزایش داده و مشتریان بیشتری را جذب کنند. با توجه به محدودیت‌های موجود در هر سیستم تولیدی، نمی‌توان به‌طور نامحدود به تولید محصولات متنوع ادامه داد؛ لذا برنامه‌ریزی برای میزان تولید از هر نوع محصول بسیار اهمیت دارد. در این پژوهش، حالت گسترده‌ای از مدل ادغامی مقدار تولید اقتصادی (EPQ) و مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) ارائه شده است.

جدول ۵ محاسبات انجام‌شده برای انتخاب بهترین گزینه با روش ویکور

رتبه‌بندی	Q_i	V_i	R_i	S_i	گزینه‌ها
۷	۰/۹۰۶۹۳۶	۰/۵	۰/۸۶۶۸۹۹	۰/۳۳	گزینه اول
۹	۱	۰/۵	۰/۹۸۹۶۰۵	۰/۳۳	گزینه دوم
۸	۰/۹۰۷۱۵۴	۰/۵	۰/۸۶۷۱۸۷	۰/۳۳	گزینه سوم
۱	۰/۰۱۹۷۱۷	۰/۵	۰/۳۳۲۰۷۳	۰/۳۲۹۸۱۴	گزینه چهارم
۲	۰/۱۶۸۱۳۷	۰/۵	۰/۵۵۱۹۹۶	۰/۳۲۹۸۰۷	گزینه پنجم
۴	۰/۵۰۶۵۰۲	۰/۵	۰/۳۳۸۸۵۷	۰/۳۳	گزینه ششم
۵	۰/۵۷۰۹۹۵	۰/۵	۰/۴۲۳۹۲۶	۰/۳۳	گزینه هفتم
۶	۰/۸۵۹۱۶۸	۰/۵	۰/۸۰۳۸۹۸	۰/۳۳	گزینه هشتم
۳	۰/۴۹۹۹۸۹	۰/۵	۰/۳۳۰۲۸۳	۰/۳۳	گزینه نهم



شکل ۳ روند تکاملی تابع هدف Z_2 در طول اجرای برنامه

جدول ۶ محاسبه میزان سفارش مواد خام برای هر یک از محصولات

	محصول اول	محصول دوم	محصول سوم
$Q_{Rj} = \frac{Q_j + \beta_j b_j}{(1-\alpha_j)}$	۱۰۷۳۴	۱۱۴۱۷	۳۶۵۴

برای حل مدل موردنظر از روش ترکیبی الگوریتم زنبورعسل و ویکور استفاده شده است. برای اثبات توانایی مدل، مثالی با سه محصول طراحی شد و با استفاده از الگوریتم زنبورعسل، سه جواب شدنی برای هر یک از توابع و درنهایت، نُه گزینه به دست آمد که هرکدام از این گزینه‌ها شامل مقادیر مختلف متغیرهای مسئله هستند. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری مسئله از روش ویکور برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است. هزینه به‌دست‌آمده از حل مدل نسبت به مقالات مشابه قبلی دارای مقدار کمتری است و این امر کارایی رویه حل ارائه‌شده را نشان می‌دهد. در ادامه میزان سفارش هر یک از این مواد برای محصولات موردنظر نیز ارائه شد.

نوآوری این مقاله ارائه یک مدل جدید تولید-موجودی چندمحصولی در حالت کمبود و همچنین محدودیت‌های؛ موجودی، دوباره‌کاری در فرآیندهای تولیدی، در شرایط عدم قطعیت تقاضاست. همچنین در این مقاله از یک رویکرد حل جدید مبتنی بر بهینه‌سازی پارتو سه‌هدفه و روش ترکیبی فرا ابتکاری و ویکور استفاده شده است. برای پژوهش‌های آتی، بررسی مسئله در حالت غیرقطعی بودن زمان تدارک، استفاده از روش‌های حل دیگر مانند لاگرانژ، زنبورعسل، مورچگان، جستجوی ممنوعه و غیره یا روش‌های ترکیبی، بررسی برخی دیگر از مولفه های این مدل در حالت غیرقطعی یا بررسی مسئله در حالت کاملاً فازی پیشنهاد می‌شود.

۷- منابع

[1] Akbarzadeh, M., Esmaeily, M., Taleizadeh, A., Economic Production Quantity model with complete reworking of imperfect items considering Vendor Management Inventory Policy, 9th international conference on industrial engineering, 2013 (In Persian).

[2] Haji, B., Haji, R. and Haji, A. Optimal batch production with rework and non-zero setup cost for rework, International Conference on Computers and Industrial Engineering, Paris, France, 2009, pp. 857–862.

[3] Pal, Brojeswar, Sana, Shib Sankar, Chaudhuri, Kripasindhu, A mathematical model on EPQ for stochastic demand in an imperfect production system, Journal of Manufacturing Systems 32, 2013, 260– 270.

[4] Sarkara Biswajit, Eduardo Leopoldo, Barrón Cárdenas, Sarkar Mitali, Laksono Singgih Moses, An economic production quantity model with random defective rate rework process and backorders for a single stage production system. Journal of Manufacturing Systems 33 (3), 2014, 423–435.

[5] Chan, C.K., Wong, W.H., Langevin, A., Lee, Y.C.E., An integrated production-inventory model for deteriorating items with consideration of optimal production rate and deterioration during delivery. International Journal of Production Economics, 189, 2017, pp. 1–13.

[6] Azar, A., Kolyaei, M., Amini, M.R., Rajabzadeh Gatari, A.R., Design of integrated mathematical model for closed-loop supply chain. Management Researches in Iran 20 (1), 2016, pp. 1-32 (In Persian).

[7] Behzadian, M., Inventory control and planning, Shomal Paydar (Shomal University), 2005, pp. 106 (In Persian).

[8] Bjork, K.-M., The economic production quantity problem with a finite production rate and fuzzy cycle time, in: Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2008, pp. 68–77.

[9] Mansoori, F., Abbasnejad, T., Askarpour, H.R., Designing an agile supply chain network in terms of demand dependence on price. Modern Researches in Decision Making, 2, (1), 2017, pp. 179-206 (In Persian).

[10] Bjork, K.-M.,Carlsson,C., The effect of flexible lead times on a paper producer. International Journal of Production Economics 107(1), 2007, 139–150.

[11] Kazemi, A., Malekian, M.R., Sarrafha, K., A new multi-product Economic Production Quantity (EPQ) model with stochastic fuzzy demand, Journal of Industrial Engineering 46 (1), 2012, 62-53 (In Persian).

[12] Sadeghi,J., Sadeghi,S., Akhavan Niaki,T., Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: An improved particle swarm optimization algorithm, Information Sciences 272, 2014, 126-144.

[13] Bhunia, A.K., Shaikh, A.A., Cárdenas-Barrón, L.E., A partially integrated production-inventory model with interval valued inventory costs, variable demand and flexible reliability. Applied Soft Computing, 55, 2017, pp. 491–502.

[14] Kundu, A., Guchhait, P., Pramanik, P., Maiti, M.K., Maiti, M., A production inventory model with price discounted fuzzy demand using an interval compared hybrid algorithm. Swarm and Evolutionary Computation, 34, 2017, pp. 1–17.

[15] Akbari, M., A model for production and inventory control in crisis condition. Management Researches in Iran, 19, (4), 2016, pp. 45-70 (In Persian).

[16] Janson, S., Middendorf, M., Beekman M., Honybee swarm: How to scouts guide a swarm of uniformed bees.Animal behavior 70, 2005, 349-358.

[17] Shams kia, F., Application of Honey Bee Algorithm on mathematical optimization, Scientific and Information Technology and Communication group, Engineering department, Najaf Abad branch of Payam Noor university, 2012 (In Persian).

[18] Karaboga, D., Basturk, B., A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, J Glob Optim 39, 2007, 459–471.

[19] Taleizadeh, A., Akhavan Niaki, T., Aryanezhad, M., A hybrid method of Pareto, TOPSIS and genetic algorithm to optimize multi-product multi-constraint inventory control systems with random fuzzy replenishments, Mathematical and Computer Modelling 49, 2009, 1044 -1057.

[20] Opricovic, S. Multi-criteria optimization of civil engineering systems, Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 1998.

[21] Opricovic, S., Tzeng, G.H., Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research 178 (2), 2007, 514–529.

[22] Taleizadeh, A.A., Jalali-Naini, S.Gh., Wee, H.M., Kuo, T.C., An imperfect multi-product production system with rework, Sharif University of Technology, Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering, accepted 10 October 2012.

[23] Ghozati, H., Pasandideh, S.H.R., Optimization inventory model of combined production and purchase with backlogging and warehouse storage constraint, 2th national conference on Industrial and Systems Engineering, Industrial Engineering Group, Najaf Abad Branch of Islamic Azad university, 2014 (In Persian).