

طراحی مدل سفارش‌دهی ترکیبی قطعات خودرو در زنجیره تأمین دوسطحی

روح انگیز اسدی^۱، رضا برادران کاظم زاده^{۲*}، عیسی نخعی کمال‌آبادی^۳،
زهرا باقری‌نژاد^۴

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۳- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

پذیرش: ۹۱/۲/۲

دریافت: ۹۰/۸/۲۲

چکیده

در این مقاله، مسئله ارسال ترکیبی (JRP) برای سفارش قطعات خودرو با در نظر گرفتن محدودیت حجم ارسال، توسعه داده شده و مسئله مذکور به صورت مدلی غیرخطی عدد صحیح فرموله شده است. تابع هزینه مدل کلاسیک مسئله ارسال ترکیبی متشکل از سه جمله: هزینه نگهداری، هزینه عمده سفارش‌دهی و هزینه متغیر سفارش‌دهی می‌باشد.

در این تحقیق علاوه بر موارد مذکور، هزینه حمل‌ونقل قطعات (بسته به میزان سفارش) به‌عنوان یک فاکتور کلیدی اثرگذار بر هزینه کلی سفارش در نظر گرفته شده است. حل و بررسی مدل ارائه شده در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و در محیط برنامه متلب انجام و مدل در دو حالت با محدودیت حجم و بدون محدودیت حجم ارسال حل شده است. نتایج حاصل از مقایسه حالت‌های فوق بیانگر آن است که اعمال محدودیت حجم ارسال، سبب افزایش دوره سفارش‌دهی شده و به‌دنبال آن هزینه‌های کل سالیانه را افزایش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ارسال ترکیبی، قطعات خودرو، الگوریتم ژنتیک، موجودی.



۱- مقدمه

مطالعه ادبیات موجود در حوزه ارسال ترکیبی نشان می‌دهد که انواع مختلفی از مدل‌های کنترل موجودی در محیط‌های چند محصولی وجود دارد [۱، صص ۶۳-۷۳]. هدف این مدل‌ها به شرط رضایت‌مندی مشتری، کمینه‌کردن هزینه‌های کل می‌باشد. هزینه‌های کل از دو مؤلفه تشکیل شده است:

۱. هزینه آماده‌سازی یا هزینه‌های سفارش‌دهی: شامل هزینه تنظیم ماشین‌آلات و تجهیزات قبل از تولید در بخش‌های تولیدی می‌باشد. این هزینه برای محصولاتی که از طریق سازنده تأمین می‌شود، متشکل از هزینه آماده‌سازی و دریافت سفارش‌ها و هزینه حمل‌ونقل کالا است.

۲. هزینه نگهداری: شامل هزینه نگهداری قطعات موجود در انبار است که در این تحقیق، ۲۰ درصد قیمت تمام شده قطعات در نظر گرفته شده است [۲، صص ۴۳۶-۴۴۳]. آنچه در این تحقیق مورد بررسی و تمرکز قرار گرفته و در واقع بخش عمده‌ای از اهداف انجام این تحقیق می‌باشد، کمک به مدیر زنجیره تأمین در تعیین مقدار بهینه سفارش از تأمین کنندگان و نیز بسته‌بندی محصولات به صورت دسته‌ای است [۳، صص ۱۸۵-۱۹۱]. هزینه سفارش‌دهی اقلام از دو مؤلفه تشکیل شده است:

الف) هزینه‌های عمده سفارش‌دهی که مستقل از مقدار سفارش است؛

ب) هزینه‌های متغیر سفارش‌دهی که به مقدار سفارش محصولات مختلف وابسته می‌باشد. به این نوع از مسائل کنترل موجودی چند اقلامی که در آن اقلام به صورت گروهی و با هم ارسال می‌شوند مسئله ارسال ترکیبی (JRP) گفته می‌شود. به دلیل هزینه‌های عمده سفارش‌دهی، ارسال گروهی اقلام، روش مناسبی برای صرفه‌جویی در هزینه‌های بالای ارسال عمده می‌باشد (تعداد هزینه‌های سفارش‌دهی متناسب با تعداد دوره‌های سفارش‌دهی است). در مواردی که هزینه‌های عمده سفارش‌دهی مقدار بیشتری را در مجموع هزینه‌ها به خود اختصاص می‌دهند، این صرفه‌جویی نمود بیشتری پیدا کرده و ابزار مناسب‌تری در دست مدیران می‌باشد [۱، صص ۶۳-۷۳، ۲، صص ۴۳۶-۴۴۳، ۳، صص ۱۸۵-۱۹۱، ۴، صص ۲۸۶-۲۸۵].

استراتژی‌های حل مسئله ارسال ترکیبی به دو دسته تقسیم می‌شوند: استراتژی گروه‌بندی مستقیم (DGS) و استراتژی گروه‌بندی غیر مستقیم (IGS). روش مستقیم در

مورد محصولاتی است که از قبل دسته‌بندی شده و دارای دوره سفارش‌دهی پایه یکسان می‌باشند (گروه‌های سفارش قبل از حل مدل مشخص می‌شود). در روش غیر مستقیم فرض بر این است که دوره سفارش‌دهی هر کالا مضرب صحیحی از دوره پایه سفارش‌دهی است (بعد از حل مسئله حاصل خواهد شد) و در نهایت بعد از حل مسئله محصولاتی که دارای مضرب یکسانی هستند در یک گروه قرار می‌گیرند. بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که روش غیر مستقیم در مقایسه با روش مستقیم در مواردی که هزینه‌های عمده سفارش‌دهی بالا است، (به دلیل کاهش هزینه‌های ارسال) دارای عملکرد بهتری می‌باشد [۴]، صص ۲۸۵-۲۸۶، ۵، صص ۲۶۴-۲۶۹، ۷، صص ۱۴۱-۱۵۱].

چالشی که مدیران شرکت‌ها در حوزه مدیریت موجودی با آن مواجه هستند، مشخص کردن برنامه زمان‌بندی سفارش کالاهای مورد نیاز شرکت می‌باشد. این چالش با پیشرفت تکنولوژی و صنعت تشدید پیدا می‌کند.

شرکت سایکو تأمین‌کننده قطعات خودرو برای بزرگ‌ترین شرکت خودروسازی ایران، یعنی ایران خودرو و زیر مجموعه‌های آن می‌باشد. از این رو باید دقت و توجه زیادی نسبت به کنترل موجودی آن شود. مشکل اصلی که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود، این است که چگونه می‌توان مقادیر سفارش قطعات را تعیین کرد تا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده و دوره ارسال ترکیبی قطعات را به نحوی مشخص کرد که خط تولید با کمبود مواجه نشود یا در اصطلاح خودروسازان خط تولید نخواست.

۲- مرور ادبیات

تحقیقات در مورد مسئله ارسال ترکیبی با تحقیق استار و میلر در سال ۱۹۶۲ [۷صص ۱۴۱-۱۵۱] و شاو^۱ در سال ۱۹۷۱ آغاز شد [۸].

آرکین و همکاران نشان دادند که JRP یک مسئله NP-hard است، بنابراین با الگوریتم‌های زمان - چند جمله‌ای قابل حل نیست [۴]، صص ۲۸۵-۲۸۶. گویال در سال ۱۹۷۴ رویکردی برمبنای ریاضیات برای حل این مسئله پیشنهاد و ادعا کرد که رویکرد پیشنهادی وی همیشه حل بهینه کل را ارائه می‌دهد [۲]، صص ۴۳۶-۴۴۳].



وان ایچ در سال ۱۹۹۳ متذکر شد که حد بالا و پایین دوره سفارش‌دهی پیشنهادی گویال ضمانتی برای حل بهینه کل ارائه نمی‌کند و الگوریتم پیشنهادی گویال را توسعه داد [۶]. برخلاف این رویکردهای عددی، سیلور در سال ۱۹۷۹ در مورد مزایا و معایب ارسال ترکیبی بحث و رویکرد غیر بازه‌ای ساده‌ای برای حل مسئله JRP معرفی کرد [۷، صص ۱۴۱-۱۵۱]. کاسپی و روزنبلند در سال ۱۹۹۳ رویکردی بر مبنای مقدارهای چند گانه دوره سفارش پایه بین مقدار ماکزیمم و مینیمم ارائه و سپس الگوریتم هیورستیکی (اصلاح شده الگوریتم سیلور) برای حل مسئله ارائه دادند. آنها مدعی بودند که الگوریتم پیشنهادی آنان دارای عملکرد بهتری به نسبت همه الگوریتم‌های موجود تا آن زمان است [۵، صص ۲۶۴-۲۶۹]. گویال و داشموخ در سال ۱۹۹۳ حد پایین مورد استفاده توسط کاسپی و روزنبلند را بهبود دادند [۶]. ویس واناتان در سال ۱۹۹۶ و وایلدمن و همکارانش سال ۱۹۷۹ مرزهای بسته‌تری برای دوره سفارش‌دهی پایه ارائه کردند [۹، صص ۹۳۶-۹۴۴، ۱۰، صص ۴۳۳-۴۴۴]. ویس واناتان در سال ۲۰۰۲ مقایسه‌ای بین روش‌های ارائه شده تا سال ۲۰۰۲ انجام داد [۱۱، صص ۱۲۸۶-۱۲۹۰]. اریک و دکر در سال ۲۰۰۸ از یک‌طرف روشی برای حل مسئله JRP با استفاده از مرزهایی که از ادبیات گرفته بودند، ارائه و از طرفی پیچیدگی روش‌های حل (الگوریتم‌های هیورستیک) پیشنهادی تا آن زمان را بررسی نمودند [۱۲] پوراس و دکر در سال ۲۰۰۶ روشی برای حل JRP با کم‌ترین مقدار سفارش برای اندازه لات‌های متمایز با در نظر گرفتن فاکتور تصحیح و نادیده گرفتن هزینه متغیر سفارش‌دهی پیشنهاد دادند [۱۳، صص ۱۵۹۵-۱۶۱۵]. یو و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مسئله زمان‌بندی ارسال ترکیبی موجودی در انبار با محدودیت فضای انبار مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. شاو و ساو در سال ۲۰۰۹ (Shu-Lu Hsu) مسئله ارسال ترکیبی را برای یک کارخانه مرکزی با چند زیر مجموعه بر مبنای سیستم Just in time مورد ارزیابی قرار دادند [۸] و کارایی مدل پیشنهادی خود را با مثال عددی به اثبات رسانید. وی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ (Wee) مسئله ارسال ترکیبی را در محیط فازی (تقاضای فازی) برای کالاهای فاسد شدنی بررسی کردند [۱۵، صص ۶۲۰-۶۳۱].

در ایران نیز کارهای زیادی در زمینه کنترل موجودی و زنجیره تأمین انجام شده است

که می‌توان به طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی در زنجیره تأمین توسط عادل آذر و همکارش در سال ۱۳۸۵ اشاره کرد. مدل ارائه شده در این تحقیق متشکل از سه بخش، ۱- تحلیل موجودی در خرده‌فروشان؛ ۲- فرایند تقاضا در انبار مرکزی و ۳- تحلیل موجودی در انبار مرکزی می‌باشد. هدف نیز کمینه کردن هزینه‌های کل است [۱۶]. جعفرنژاد و همکاران در سال ۱۳۸۶ روی مکانیابی مراکز توزیع تمرکز کردند آنها در مدل ارائه شده، هزینه‌های مربوط به موجودی کالا و ذخیره اطمینان را به عنوان به عنوان پارامتری تأثیر گذار در هزینه کل در نظر گرفتند [۱۷]. صادقی مقدم و همکارانش در سال ۱۳۸۴ روی جریان مواد در زنجیره تأمین تحقیق کردند [۱۸]. قابل ذکر است که با توجه به مطالعاتی که انجام شده است، تاکنون در ایران در زمینه ارسال (سفارش) ترکیبی کالاها تحقیقی انجام نشده است، از این رو در تحقیق حاضر به این موضوع پرداخته شده است.

۳- تعریف مسئله

در این مقاله مدلی برای سیستم سفارش‌دهی شرکت سایکو به عنوان تأمین‌کننده قطعات شرکت ایران خودرو با هدف کمینه کردن هزینه‌های کل شامل هزینه‌های سفارش‌دهی و هزینه نگهداری موجودی و هزینه حمل با در نظر گرفتن محدودیت حجم ارسال قطعات، ارائه شده است. در مدلسازی برای این مسئله، فرضی‌های زیر برای ارسال ترکیبی m قطعه از یک سازنده در نظر گرفته می‌شود [۴، صص ۲۸۵-۲۸۶، ۲۰-۲۸۶، صص ۳۵۴-۳۶۹، ۲۱، صص ۶۱-۶۶]:

۱. نرخ تقاضای ثابت و شناخته شده است.
۲. هزینه نگهداری هر کالا به ازای هر واحد کالا و در واحد زمانی دارای نرخ ثابتی است.
۳. لید تایم صفر در نظر گرفته می‌شود.
۴. کمبود مجاز نیست.
۵. مقدار کل سفارش‌ها در یک زمان ثابت سفارش داده می‌شود.
۶. برای ارسال‌ها از تخفیف مقداری برخوردار نیستیم.
۷. افق برنامه‌ریزی قطعی است.
۸. هیچ ذخیره اولیه‌ای از موجودی وجود ندارد.
۹. مقدار سفارش هر قطعه در هر دوره سفارش‌دهی ثابت است.

۱۰. امکان ارسال قطعات با یکدیگر وجود ندارد.

۴- متغیرها و پارامترهای مسئله

در ساختار یک مدل ریاضی تعریف متغیرهای متناسب با مسئله مورد بررسی امری ضروری است. از این رو پارامترهای مدلسازی مسئله تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

h_j : هزینه نگهداری هر واحد کالا در سال

m : تعداد کالا

V_c : ظرفیت کل حمل و نقل (مجموع حجم تمام کامیون‌های در دست)

v_j : حجم هر کالا

a_j : هزینه متغیر سفارش هر کالا

Trc_j : هزینه حمل هر قطعه

A : هزینه ثابت سفارش‌دهی

k_j : فرکانس سفارش هر کالا (متغیر تصمیم)

T : زمان چرخه پایه (متغیر تصمیم)

Q_j : مقدار سفارش هر قطعه در هر دوره سفارش‌دهی (متغیر تصمیم)

V'_c : حجم کل کامیون‌ها جهت حمل سفارش‌ها (متغیر تصمیم)

۵- مدل ریاضی

مسئله ارسال ترکیبی براساس مدل کلاسیک JRP که توسط استار و میلر در سال ۱۹۶۲ و شاو در سال ۱۹۷۱ ارائه و توسط دیگر محققان (که در قسمت مرور ادبیات به آنها اشاره شد) مورد استفاده قرار گرفته است، مدلسازی و با توجه به محدودیت شرکت توسعه داده شده است. مدل ارائه شده به فرم می‌باشد:

$$\text{Min } TC^k = \frac{A\Delta k}{T} + \frac{T}{\Delta} \sum_j^m (d_j k_j h_j) + \sum_j^m \frac{a_j}{Tk_j} + \sum_j^m \frac{Trc_j}{Tk_j} \quad (1)$$

S.T:

$$V_c = T \sum_j^m (k_j d_j v_j) \leq V \quad (2)$$

$$V_c = T \sum_j^m (k_j d_j v_j) > 0 \quad (3)$$

$$k_j \geq 1 \text{ for } j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

$$k_j \text{ Integer for } j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (5)$$

$$T > 0$$

در مدل ارائه شده، هزینه نگهداری قطعات از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$C_h = \frac{T}{\gamma} \sum_j^m (d_j k_j h_j) \quad (6)$$

هزینه سفارش‌دهی قطعات برابر است با:

$$C_a = \frac{A}{T} + \sum_j^m \frac{a_j}{T k_j} \quad (7)$$

از آن جایی که مقدار A وابسته به تعداد ارسال‌ها و نیز تعداد گروه‌های ارسالی می‌باشد، اگر بهینه‌سازی به شکلی باشد که قطعات با تعداد کم‌تری دوره و نیز گروه البته با در نظر گرفتن سایر شرایط، ارسال شود، هزینه عمده سفارش‌دهی کمتر و به دنبال آن هزینه‌های کل کاهش پیدا می‌کند، از آن جایی که این پارامتر بخش عمده‌ای از هزینه‌های شرکت جهت سفارش قطعات را در برمی‌گیرد، باید توجه ویژه‌ای به آن داشت.

و هزینه حمل هر قطعه نیز به این صورت تعیین می‌شود:

$$C_{Tr} = \sum_j^m \frac{Trc_j}{T k_j} \quad (8)$$

بنابراین هزینه کل برای هر دوره سفارش برابر خواهد بود با:

$$TC = C_h + C_a + C_{Tr} = \frac{A}{T} + \frac{T}{\gamma} \sum_j^m (d_j k_j h_j) + \sum_j^m \frac{a_j}{T k_j} + \sum_j^m \frac{Trc_j}{T k_j} \quad (9)$$

هدف مسئله یافتن k_j و T است که هزینه‌های کل را کمینه کند، باید متذکر شد که تابع

هزینه محدب نیست.

داگپونار در سال ۱۹۸۲ متذکر شد که ضریب تصحیح (مستقل از T, k_j) باید به عبارت $\frac{S}{T}$ در تابع هدف هزینه، زمانی که کم‌ترین مقدار k_j بزرگ‌تر از یک باشد، اضافه شود. این فاکتور برای تعدیل اثر هزینه عمده سفارش‌دهی در دوره‌هایی که سفارش نداریم، استفاده می‌شود. از این رو فاکتور حاضر مرتبط با هزینه ثابت سفارش‌دهی در نظر گرفته شده است. با توجه به این فاکتور، فرمول تابع هزینه به فرم زیر خواهد بود:



$$TC^k = C_h + C_a + C_{Tr} = \frac{A\Delta k}{T} + \frac{T}{2} \sum_j^m (d_j k_j h_j) + \sum_j^m \frac{a_j}{Tk_j} + \sum_j^m \frac{Trc_j}{Tk_j} \quad (10)$$

فرمول زیر با استفاده از قانون اصل شمول وعدم شمول برای محاسبه Δk ، حاصل می‌شود [۴]:

$$\begin{aligned} \Delta k &= \sum_j^m (-1)^{j+1} \sum_{\{\alpha \in \{1, \dots, m\}; |\alpha|=j\}} (lcm(k_{\alpha_1}, \dots, k_{\alpha_j}))^{-1} \\ &= \sum_{j=1}^m \frac{1}{k_j} - \sum_{(i,j) \in \{1, \dots, m\}} \frac{1}{lcm(k_j, k_i)} + \sum_{(i,j,k) \in \{1, \dots, m\}} \frac{1}{lcm(k_i, k_j, k_k)} - \dots + \\ &(-1)^{m+1} \frac{1}{lcm(k_1, \dots, k_m)} \end{aligned} \quad (11)$$

در رابطه (11) ، $lcm(k_1, \dots, k_m)$ بزرگ‌ترین مضرب مشترک k_j هاست.

باید توجه کرد در صورتی که k_j به ازای بعضی از j ها ۱ باشد، در آن صورت $\Delta k = 1$ خواهد بود. بنابراین در این موارد محاسبه Δk مشکل می‌شود و با جواب‌های غیر منتظره‌ای مواجه خواهیم شد. برای رفع این مشکل الگوریتم موجود در ادبیات محاسبه Δk توسعه داده شد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۵-۱- الگوریتم محاسبه Δk

بردار $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ را دریافت کن و قدم‌های زیر را ادامه بده.

گام ۱: اگر به ازای هر $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ ، $k_j = 1$ بود، آن‌گاه $\Delta k = 1$ قرار بده و پایان.

گام ۲: عناصر بردار K را به صورت صعودی مرتب کن.

گام ۳: $\Delta k = \sum_{j=1}^m \frac{1}{k_j}$ قرار بده.

گام ۴: $Sum = \sum_i^m \sum_j^m \frac{1}{(k_i k_j)}$ را محاسبه کن.

گام ۵: $\Delta k = \max \Delta k - Sum$ قرار بده و برو به قدم بعد.

گام ۶: $\Delta k = \frac{\max \Delta k - \min \Delta k}{2}$ قرار بده.

گام ۷: پایان.

الگوریتم توسعه داده شده برای مدل‌هایی که در ادبیات وجود دارد و با استفاده از داده‌های موجود در ادبیات که داده‌های تولید شده می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما جهت ارزیابی آن برای حالت‌های دیگر نیاز به بررسی بیشتر است.

۵-۲- محدودیت‌های مسئله

در این تحقیق برای حل مسئله JRP محدودیت حجم ارسال به دلیل محدودیت حجم ارسال سازندگان در نظر گرفته شده است، در مدل ارائه شده است. رابطه (۲) و (۳) بیانگر محدودیت حجم ارسالی می‌باشد. لازم به یادآوری است که حجم ارسالی هر قطعه در دوره ارسالی از ضرب حجم هر قطعه در تقاضای هر واحد از قطعه در واحد زمان در هر دوره سفارش (روش محاسبه هر دو پارامتر در قسمت جمع‌آوری داده‌ها شرح داده شده است) حاصل خواهد شد و حجم کل ارسالی (مجموع حجم ارسال قطعات مختلف) نباید از حجم ارسال هر دوره بیشتر باشد. این محدودیت از طریق مشورت با خبرگان شرکت در نظر گرفته شده است، فرایند تعیین میزان ارسال قطعات در شرکت به این شکل است که شرکت بودجه ثابتی برای ارسال قطعات (مدت قرارداد، سالیانه و یا بیشتر می‌باشد، اما مقدار هر ماه مشخص شده است) به قطعه‌سازان تخصیص می‌دهد و قطعه‌سازان براساس بودجه‌ای که در اختیار دارند، تعداد وسایل نقلیه جهت ارسال را مشخص و به دنبال آن مقدار ارسال کل مشخص می‌گردد. رابطه (۴) و (۵) محدودیت صحیح بودن متغیر k را نشان می‌دهد.

۶- روش حل مسئله TC

تابع هدف TC با توجه به متغیرهای T ، K محدب نیست، اما برای بردار ثابتی از k تابع در T محدب است. T بهینه از روابط زیر حاصل خواهد شد:

$$T^*(k_1, \dots, k_m) = \sqrt{\frac{\gamma(A + \sum_j^m \frac{a_j}{k_j})}{\sum_j^m h_j d_j k_j}} \quad (12)$$

و همین طور از محدودیت اول داریم:



$$T^2(k_1, \dots, k_m) = \frac{V}{\sum_j^m k_j d_j v_j} \quad (13)$$

بنابراین از روابط ۱۲ و ۱۳ برای حالتی که محدودیت حجم داریم:

$$T^* = \min(T^1, T^2) \quad (14)$$

و برای حالت بدون محدودیت حجم داریم:

$$T^* = T^1 \quad (15)$$

۶-۱- جمع‌آوری داده‌ها

برای جمع‌آوری داده‌ها در آغاز نیاز به انتخاب سازندگان و نیز قطعات می‌باشد. از این رو بعد از مشورتی که با کارشناسان شرکت ساپکو (۵۵ نفر از کارشناسان امور برنامه‌ریزی شرکت) انجام شد، قطعه‌سازانی که از اهمیت بالایی برخوردار (سازنده بخش عمره‌ای از قطعات شرکت بوده و یا تأمین‌کننده قطعات استراتژیک شرکت می‌باشند) و قطعاتی که دارای قیمت تمام شده بیشتر و نیز حجم بیش‌تری بودند، به عنوان نمونه انتخاب شدند. داده‌های مورد نیاز برای مدل از بخش‌های مختلف شرکت جمع‌آوری و سپس با استفاده از روابط زیر، پارامترهای مورد نیاز مدل محاسبه شد که این فرایند حدود ۲ ماه زمان برد. در این مقاله نتایج برای یک سازنده مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مدل به شرح زیر می‌باشد:

۱. هزینه نگهداری قطعات در محل قطعه‌ساز به ازای هر واحد قطعه: در این شرکت‌ها این هزینه به صورت ۲۰ درصد درآمد فروش (قیمت تمام شده قطعه) در نظر گرفته می‌شود، در رابطه زیر p_j قیمت تمام شده هر قطعه است.

$$h_j = 20\% p_j \quad (16)$$

۲. هزینه سفارش‌دهی قطعات: شامل هزینه بسته‌بندی قطعات، قیمت تمام شده هر قطعه و هزینه ثابت سفارش‌دهی (شامل هزینه پرسنلی بخش‌های درگیر با سفارش‌دهی قطعات، هزینه‌های بیمه و ...) به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$TS = S + S_j = S + PA_j + p_j \quad (17)$$

در رابطه بالا PA_j هزینه بسته‌بندی هر قطعه است و S هزینه ثابت سفارش‌دهی می‌باشد.

۳. هزینه حمل به ازای هر قطعه: از تقسیم هزینه حمل وسیله نقلیه بر تعداد قطعه به ازای

هر وسیله نقلیه حاصل شده است که به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Trc_j = \frac{v_j}{v_{kh}} \times Trc_{kh} \quad (18)$$

در رابطه فوق v_j و v_{kh} به ترتیب حجم قطعه و حجم وسیله نقلیه بر حسب میلیمتر مکعب و Trc_j و Trc_{kh} هزینه حمل به وسیله نقلیه (کرایه حمل) و هزینه حمل به ازای هر قطعه بر حسب ریال است.

۴. تقاضای هر قطعه در واحد زمان: با توجه به داده‌های پیش‌بینی شده به وسیله شرکت از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$d_j = \left[\frac{D_j}{n} \right] + 1 \quad (19)$$

در رابطه بالا n تعداد روزهای کاری در سال و D_j تقاضای سالیانه هر قطعه می‌باشد.
 ۵. حجم هر قطعه: از تقسیم حجم هر پالت بر تعداد قطعه در پالت مورد نظر به دست آمده است.
 مسئله ارسال ترکیبی براساس ادعای Olsen, (2006) cha and Moon (2006), Chan et al (2003), Chan et al (2006), Silver et al (1998), Chan et al (2005), یک مسئله NP-Hard است، بنابراین با روش‌های معمول قابل حل نیست. در این صورت در تحقیق حاضر از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است.

۷- الگوریتم ژنتیک

مدل طراحی شده یک مدل ریاضی غیر خطی - عدد صحیح است که با روش‌های معمول قابل حل نیست. بنابراین یک رویکرد هیورستیک بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله توسعه داده شد. الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی احتمالاتی برای یافتن نقاط حداقل و حداکثر یک تابع هدف در یک فضای حالت تعریف شده است که اولین بار توسط جان هلند در سال ۱۹۷۰ مطرح شد.

۷-۱- جمعیت اولیه

مجموعه جواب‌های اولیه که شامل اطلاعات متغیرهای بهینه‌سازی هستند، به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شوند، در این مرحله بردار ثابتی



از k به صورت تصادفی تولید می‌شود.

۲-۷- ارزیابی

برای ارزیابی جواب‌ها در هر نسل از تابع هدف معادله (۱) استفاده می‌شود. مقدار تابع هدف برای هر یک از افراد جمعیت، محاسبه و مقدار برانزنگی هر فرد تعیین می‌شود. این مقدار برانزنگی در تعیین احتمال انتخاب فرد برای تکثیر نسل بعدی اهمیت دارد.

۳-۷- تکثیر

آن چه در تولید نسل بعدی مهم است. انتخاب مناسب والدین برای عمل تزویج است. در این تحقیق از روش چرخ رولت با نرخ انتخاب $0/5$ برای انتخاب والدین استفاده شده است. سپس روی افراد منتخب عمل تزویج تک نقطه‌ای و جهش انجام می‌گیرد. طی عمل تزویج دو کروموزوم که به طور تصادفی انتخاب شده، از ژنی به صورت تصادفی شکسته شده و در هم ادغام می‌شوند. برای اینکه کروموزوم‌های ایجاد شده در روند یکنواخت قرار نگیرند، یک مجموعه کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب شده و تغییر پیدا می‌کنند. عمل جهش تبدیل یکی از ژن‌های کروموزوم به صورت کاملاً تصادفی به عددی دلخواه در فاصله بین حدود k (توسط کاربر تعیین می‌گردد) می‌باشد.

۱-۳-۷- شرط توقف

الگوریتم ژنتیک زمانی پایان پیدا می‌کند که یکی از شرط‌های زیر برآورده شود:
۱- $Iga < \max\ iga$ شود. Iga تعداد تکرار است و $\max\ iga$ حداکثر تکرار است که توسط کاربر تعیین می‌شود.

$$2- TC \leq 0 \text{ (هزینه کل سالیانه)}$$

مشخصات الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱ مشخصات الگوریتم ژنتیک ارائه شده

متغیر	مقدار
جمعیت	۵۰
شرط پایان	$lga < 100$ or $TC \leq 0$
احتمال جهش	۰/۵
احتمال توزیع	۰/۲
روش انتخاب	چرخ رولت
توزیع	تک نقطه‌ای
احتمال انتخاب برای نسل بعدی	۰/۲

۸- حل مدل به‌وسیله داده‌های واقعی

در این مقاله مدل در دو حالت طراحی و حل شده است: ۱- با محدودیت حجم ارسالی و ۲- بدون محدودیت. مدل‌ها با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از شرکت سایکو برای ۱۲ قطعه پر مصرف از یکی از سازندگان اصلی شرکت (شرکت اطلس پمپ) انتخاب و جزئیات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ داده‌های ورودی شرکت اطلس پمپ

ردیف	h_j	Trc_j	v_j	d_j	A	a_j	V
۱	۶۵۴	۲۱/۷	۲۴۰	۱۲۰۰۹	۱۲۳	۳/۶۸۸e+۰۱۲	۷/۳۰۹e+۰۱۲
۲	۲۶۵۲۵/۵۵	۱۰۴۱/۶۷	۲۷۷۳۴/۴	۱۸۴۴۸۹/۲۸	۸۲		
۳	۱۷۰۲۶/۵۵	۳۴۷/۲۲	۹۲۴۴/۸	۱۲۱۱۵	۹۲		
۴	۱۲۳۰۰	۱۵۵	۱۸۳۴۲۵۰/۷۱۴	۸۹۶۴۶	۲۲۴		
۵	۷۱۹۶/۷	۱۰۴۱/۶۷	۲۸۲۴۸	۵۵۶۳۱/۸۷	۶۷		
۶	۵۹۲۵/۳	۳۵۷/۱۴	۱۲۰۰۰	۴۷۱۵۳/۱۸۴۴	۱۳۱		
۷	۲۶۱۲۷	۸۵۷۱/۴	۲۴۰۰۰	۱۸۱۳۲/۳۲	۹۷		
۸	۸۳/۳۵۷۱	۱۲۶/۶۷	۸۰۰	۳۱۵۱۱/۳۷	۶۶۲		
۹	۲۱۳۰۰	۲/۱۱	۲۲/۸	۱۴۹۶۴۷/۷۱	۶۶۳		
۱۰	۱۵۰	۱/۵۹	۱۷/۱	۸۶۴۵/۸۲	۶۳		
۱۱	۲۷۰۲۴	۲۸۹۳/۵۲	۷۷۰۴	۱۸۷۸۱۰/۸۵	۶۷۷		
۱۲	۱۸۰۰۰	۲۸۹۳/۵۲	۷۷۰۴۰	۱۲۷۶۴۷/۰۵	۶۶۴		

در جدول فوق پارامترهای h_j , Trc_j , v_j , به‌ترتیب بیانگر هزینه نگهداری هر قطعه در واحد زمان برحسب ریال، هزینه حمل هر قطعه در واحد زمان برحسب میلیون ریال، حجم هر قطعه

برحسب m^3 و V, A, d_j, a_j نیز نشانگر نرخ تقاضا، هزینه عمده سفارش‌دهی برحسب ریال در سال، حجم کل ارسالی برحسب mm^3 می‌باشد.

۹- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل ارسال ترکیبی سفارش‌دهی قطعات شرکت ساپکو را از طریق استراتژی غیر مستقیم (سیاست (k_j, T)) گروه‌بندی کردیم و سپس دوره بهینه سفارش‌دهی هر گروه و میزان سفارش هر قطعه تعیین شد. با مشاهده نتایج جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که در حالت بدون محدودیت حجم دوره بهینه سفارش‌دهی برای قطعات ۲ و ۳ و ۴ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۱ و ۱۲ هر ۱۴ روز یک بار بوده و در یک گروه قرار می‌گیرند و قطعه ۵ به صورتی مجزا هر ۵۶ روز یک بار و قطعات ۱ و ۶ و ۱۰ نیز در یک گروه و هر ۲۸ روز یک بار سفارش داده می‌شوند. به صورت مشابه برای حالت با محدودیت حجم دوره سفارش‌دهی قطعه ۱، ۲۹ روزه و برای قطعه ۱۰، ۵۷ روزه است و قطعات ۱ و ۳ و ۵ و ۶ و ۱۰ در یک گروه و هر ۱۵ روز یک بار سفارش داده می‌شود.

جدول ۳ نتایج الگوریتم ژنتیک شرکت اطلس پمپ

با محدودیت حجم				بدون محدودیت حجم			
ردیف	Tj(day)	Kj	Qj	ردیف	Tj(day)	Kj	Qj
۱	۲۹	۲	۳۴۵۸	۱	۲۸	۲	۳۴۱۰
۲	۱۵	۱	۱۱۵۳	۲	۱۴	۱	۱۱۳۷
۳	۱۵	۱	۱۲۹۳	۳	۱۴	۱	۱۲۷۶
۴	۱۵	۱	۳۱۴۸	۴	۱۴	۱	۳۱۰۵
۵	۱۵	۱	۹۴۲	۵	۵۶	۴	۳۷۱۵
۶	۱۵	۱	۱۸۴۱	۶	۲۸	۲	۳۶۳۲
۷	۱۵	۱	۱۳۶۴	۷	۱۴	۱	۱۳۴۵
۸	۱۵	۱	۹۳۰۴	۸	۱۴	۱	۹۱۷۷
۹	۱۵	۱	۹۳۱۸	۹	۱۴	۱	۹۱۹۰
۱۰	۵۷	۴	۳۵۴۲	۱۰	۲۸	۲	۱۷۴۷
۱۱	۱۵	۱	۹۵۱۳	۱۱	۱۴	۱	۹۳۸۴
۱۲	۱۵	۱	۹۳۳۲	۱۲	۱۴	۱	۹۲۰۳
(num) Q	T(day)	v	Tc(ریال)	Q (num)	T(day)	v	(ریال) Tc
۵۴۲۰۲	۱۴/۰۵	۷۳۶۰	۲۶۶۴۷۲۹۷	۵۶۳۱۸	۱۲/۸	۷۳۶۰	۶۶۲۰

از مقایسه دو حالت مورد بررسی مشاهده می‌شود که وجود محدودیت حجم باعث افزایش دوره سفارش‌دهی شده و به دنبال آن افزایش هزینه‌های کل را خواهیم داشت. مقایسه هزینه کل برای حالت بدون محدودیت حجم و حالت دارای محدودیت حجم در جدول نشان داده شده است.

جدول ۴ مقایسه تغییرات هزینه کل برای حالت‌های بدون محدودیت حجم و بدون محدودیت حجم

درصد تغییر هزینه‌ها	TC با محدودیت حجم	TC بدون محدودیت حجم	T حالت با محدودیت حجم	T حالت بدون محدودیت حجم	ردیف
٪۳۵	۷۰۱۶۸۹۶۵۰۲۲	۴۵۳۲۲۲۰۹۱۶۴	۳۱	۱۹	کل سازندگان
٪۷۵	۲۶۶۴۷۲۹۲۷۲۵	۶۶۲۰۷۹۴۰۳۳	۱۴/۰۵	۱۳/۸۶	شرکت اطلس

همان طور که از جدول ۴ برداشت می‌شود اعمال محدودیت حجم ارسالی باعث افزایش دوره سفارش‌دهی می‌شود و به دنبال آن هزینه کل سالیانه افزایش پیدا می‌کند. در جدول ۴، T دوره پایه سفارش‌دهی به روز و TC هزینه کل سالیانه زنجیره تأمین شرکت اطلس پمپ و شرکت ساپکو برحسب ریال می‌باشد.

برای مقایسه سیستم سفارش‌دهی ارائه شده با سیستم سنتی (تجربی) شرکت ساپکو برای قطعات تأمینی از شرکت اطلس پمپ، از روابط زیر استفاده شده است. لازم به یادآوری است که در سیستم سنتی شرکت ساپکو، سفارش‌گذاری همه قطعات شرکت هر ۱۵ روز یک بار صورت می‌گیرد و روش محاسبه هزینه کل سالیانه شرکت و یا مقدار آن در دسترس نبود، لذا جهت مقایسه از این روش استفاده شد.

$$TC = A + \frac{1}{\gamma} \sum_j^m (a_j + Trc_j) + \frac{1}{\gamma} \sum_j^m h_j d_j \quad (20)$$

مقدار هزینه سالیانه شرکت اطلس پمپ با استفاده از رابطه بالا و اطلاعات جدول ۳، برابر ۳۶۹۱۸۴ میلیون ریال محاسبه می‌شود، در حالی که هزینه کل سالیانه محاسبه شده در مدل پیشنهادی در این تحقیق برابر ۶۶۲ میلیون ریال می‌باشد. با مقایسه هزینه کل سالیانه در دو

روش مشاهده می‌شود که روش سنتی این مقدار را بسیار زیاد تخمین می‌زند. در این پژوهش برخلاف سایر تحقیقات گذشته که از داده‌های تولید شده یا داده‌های موجود در ادبیات استفاده شده است، از داده‌های واقعی شرکت (شرایط واقعی در نظر گرفته شده) استفاده شده که با توجه به غیرقابل استفاده بودن داده‌های شرکت برای مدل، داده‌های خام با استفاده از روابط ارائه شده در قسمت جمع‌آوری داده‌ها، به داده‌های قابل استفاده جهت اجرای مدل تبدیل شد، یکی دیگر از نوع‌آوری‌های این تحقیق در نظر گرفتن محدودیت حجم ارسال قطعات که به تبع آن روش حل نیز متفاوت از سایر تحقیقات خواهد شد (در قسمت روش حل شرح داده شده)، است. همین طور در این تحقیق هزینه حمل و نقل قطعات (وابسته به میزان ارسال قطعات) به عنوان فاکتور مؤثر بر هزینه کل در نظر گرفته شده است.

۱۰- پیشنهاد برای تحقیقات آتی

• در این تحقیق فرض شده است که میزان سفارش قطعات در دوره‌های مختلف سفارش با یکدیگر برابر است. در تحقیقات آینده می‌توان این فرض را در نظر نگرفته و مسئله را در صورتی که میزان سفارش در دوره‌های مختلف یکسان نباشد، مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق مسئله در صورتی که همه کالاها امکان حمل با یکدیگر را دارند، مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان در تحقیقات آینده این شرط را به گونه‌ای دیگر تعمیم داد و آن را در صورتی که امکان حمل کالاها با یکدیگر وجود نداشته باشند، مدلسازی کرد.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

1. Shu
2. Viswanathan

۱۲- منابع

- [1] Aksoy Y., Erenguc S.S; "Multi-item inventory models with coordinated replenishments: A survey", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol 8,1988
- [2] Goyal, S.K.;"Determination of optimum packaging frequency of items joint

- lyreplenished ", *Management Science* ,Vol 21, 1974.
- [3] Van Eijs M.J.G.;"A note on the joint replenishment problem under constant demand"; *Journal of the Operational Research Society*.Vol 44, 1993.
- [4] Dagpunar J.S.;"Formulation of a multi item single supplier inventory problem", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 33, 1982
- [5] Kaspi M., Rosenblatt M.J.;"An improvement of silver's algorithm for the joint replenishmentproblem", *IIE Transactions*, Vol.15, 1983.
- [6] J.B.G. Frenk, M.J.Kleijn, Dekker R.;"An efficient algorithm for a generalized joint replenishmentproblem"; *European Journal of Operational Research*, Vol.118, 1999.
- [7] Silver E.;"Coordinated replenishments of items under time varyingdemand: Dynamic programming formulation", *Naval Research Logistics Quarterly*. Vol 26, 1979.
- [8] Shu-Lu H.;"Optimal joint replenishmentdecision for a central factorywith multiple satellite factories", *Expert System whit Applications*, Vol. 36, 2009.
- [9] Viswanathan S.;"A new optimal algorithm for the joint replenishmentproblem"; *Journal of the Operational Research Society*.Vol. 47, 1996.
- [10] Wildeman R.E., Frenk J.B.G., Dekker R.; "An efficient optimal solution method for the joint replenishmentproblem"; *European Journal of Operational Research*,Vol. 99, 1997.
- [11] Viswanathan S.;"On optimal algorithms for the joint replenishment problem", *Journal of the Operational Research Society*, Vol 53, 2002.
- [12] Eric P., Rommert D.;"A solution method for the joint replenishment problem whit correction factor"; *Int. J. Production Economics*, Vol. 113, 2008.
- [13] Porras E., Dekker R.;"An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities"; *European Journal of Operational Research*,Vol 174, 2006a.

- [14] Yi-Chi W., Wei-Ting C.; "A sensitivity analysis of solving joint replenishment problem using the RAND method under inaccurate holding cost estimates and demand forecasts"; *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 55, 2008.
- [15] Hui-Ming W., Chien-Chung L., Ping-Hui H.; "A multi-objective joint replenishment inventory model deteriorated items in a fuzzy environment", *European Journal of Operation Research*, Vol. 197, 2009.
- [۱۶] آذر ع.، علی محمدلو م.؛ «طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی در زنجیره تأمین»؛ فصلنامه مدرس علوم انسانی، پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره ۱۱، شماره ۳، ۱۳۸۵.
- [۱۷] جعفرنژاد ا.، اسماعیلیان م.، رضوانی م.؛ «مکان‌یابی مراکز توزیع با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیر خطی»؛ فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه مدیریت، دوره ۱۲، شماره ۱، ۱۳۸۶.
- [۱۸] صادقی مقدم م.، افسرا، سهرابی، ب.؛ «مدلسازی جریان مواد زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک»؛ فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه مدیریت، بهار ۱۳۸۵.
- [19] Fang-Chuan L., Ming-Jong Y.; "A global optimal search algorithm for the joint replenishment problem under power-of-two policy"; *Computer & Operation Research*, Vol 30, 2003.
- [20] Anne L. Olsen; "Inventory replenishment with inter dependent ordering costs: An evolutionary algorithm solution"; *Int. j. Production Economics*, N. 113, 2008.
- [21] Arkin E., Joneja D., Roundy R.; "Computational complexity of uncapacitated multi-echelon production planning problems"; *Operations Research Letters*, Vol. 8, 1989.