ارائه یک مدل ریاضی تصادفی جهت ارتقاء عملکرد شرکت ایران‌خودرو در زمینه مدیریت موجودی قطعات یدکی در مقایسه با کلاس جهانی

حمید رضا باریکبین[۱]، محمد کاظم یداله‌زاده*[۱،۲]، هادی مصدق[۳]، حسین غلامعلی فرد[۱]

۱- مدیریت برنامه ریزي و کنترل تولید خودرو، معاونت تولید خودرو، گروه صنعتی ایران خودرو
۲- مؤسسه آموزشی، پژوهشی و فناوری، گروه صنعتی ایران خودرو
۳- دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

چکیده

مسأله تعیین سیاست بهینه و مدیریت صحیح موجودي قطعات یدکي از دیرباز مورد توجه مدیران شرکت‌های تولیدی و محققان دانشگاهی بوده است. ضرورت ایجاد یک مکانیزم کنترل موجودی مناسب جهت اطمینان از وجود قطعات یدکی در انبارهای غیرتولیدی شرکت‌ها به اندازه‌ای است که شاخص‌های استانداردی برای آن در سطح کلاس جهانی تعریف شده و عملکرد شرکت‌های مختلف با آنها سنجیده می‌شود. از طرف دیگر، قطعات یدکی در مقایسه با دیگر اقلام مصرفی تولیدی رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند که مسأله تعیین سطح بهینه موجودی برای آنها را دشوارتر می‌کند. مقاله حاضر به بررسی این مسأله در شرکت ایران‌خودرو می‌پردازد. در این مقاله از یک رویکرد دو مرحله‌ای برای حل مسأله استفاده شده است. در مرحله اول از ابزارهای سری زمانی و شبیه‌سازی آماری برای مدل‌سازی و سناریوسازی مصرف قطعات یدکی استفاده می‌شود. در مرحله دوم یک مدل ریاضی تصادفی توسعه داده شده است که سناریوهای تولید شده در مرحله اول را به عنوان ورودی دریافت کرده و سطح بهینه موجودی برای قطعه یدکی مورد نظر را ارائه می‌دهد. تا جائیکه نویسندگان مقاله اطلاع دارند، این مقاله برای اولین بار سناریوهای مختلف مصرف را برای تعیین متغیرهای کنترل موجودی در نظر می‌گیرد که این امر باعث افزایش دقت در تعیین جواب مسأله می‌شود. مدل ارائه شده برای دو نمونه قطعه یدکی در شرکت ایران خودرو بکار گرفته شده است. برای حل مدل از نرم افزارهای قدرتمند آماری و بهینه سازی استفاده شده است. نتایج به دست آمده از نظر کارشناسان رضایتبخش بوده و نشان می‌دهد که از مدل ارائه شده می‌توان برای برنامه‌ریزی موجودی سایر اقلام یدکی شرکت ایران خودرو استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: قطعات یدکي، کنترل موجودي، مدل‌سازی، بهینه‌سازی، سناریوسازی.

* نویسنده مسئول مکاتبات
آدرس پست الکترونیک: m.yadollahzadeh@ikco.ir
آدرس: تهران – شرکت ایران خودرو – معاونت تولید خودرو – مدیریت اقلام یدکی

۱- مقدمه

گروه صنعتی ایران‌خودرو به عنوان یکی از صنایع مهم خودروسازی دنیا سالانه حجم وسیعی از تقاضای خودروی داخل کشور و برخی از کشورهای خاورمیانه را پوشش می‌دهد. همچنین این شرکت خدمات پشتیبانی گسترده ای را در سراسر کشور به مشتریان ارائه می‌دهد. تنوع بالای محصولات در حجم انبوه و استفاده از سطح بالای اتوماسیون و تکنولوژی تولید، گردش موجودی قطعات یدکی را به بالاترین سطح ممکن در چند سال اخیر رسانده است. اهمیت تولید پیوسته با کیفیت بالا و بدون توقف خط باعث شده تا سطح قابل توجهی از انبارهای این شرکت به قطعات یدکی اختصاص یابد.
مشابه با دیگر خودروسازان مطرح دنیا، مسأله تعیین سیاست بهینه و مدیریت صحیح موجودی قطعات یدکی همواره به عنوان یکی از معضلات شرکت ایران‌خودرو بوده است. درصورتی که بتوان روشی برای تعیین کنترل موجودی بهینه قطعات یدکی یافت، ضمن کاهش ریسک توقفات تولید و افت کیفیت محصول، می‌توان به استفاده بهینه از منابع مالی سازمان و افزایش سود شرکت امیدوار بود. مسأله اصلی که در این مقاله دنبال می‌شود توسعه مدلی برای تعیین سطح بهینه موجودی قطعات یدکی در ماشین‌آلات خطوط تولید شرکت ایران خودرو است. بدین منظور از یک رویکرد دو مرحله‌ای برای حل مسأله استفاده شده است. ابتدا با استفاده از مدل‌های آماری برگرفته از مدل‌های سری زمانی، مصرف قطعات یدکی شبیه‌سازی شده سپس بر اساس نتایج به دست آمده، در مرحله بعدی، از مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای تعیین سطح بهینه موجودی قطعات یدکی استفاده می‌شود. برای حل مدل آماری از نرم‌افزار R و برای حل مدل ریاضی از نرم‌افزار سیپلکس استفاده شده است. ادامه مباحث مقاله بدین صورت ارائه شده است. در بخش دوم مروری بر ادبیات موضوع انجام می‌گیرد. بخش سوم مسأله را با جزئیات بیشتری شرح می‌دهد. بخش چهارم مدل‌سازی و رویکرد حل مسأله را بیان می‌کند. در این بخش مدل آماری و مدل ریاضی تصادفی شرح داده شده است. بخش پنجم نتایج محاسباتی را ارائه می‌کند و نهایتاً در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی ارائه می‌شود.

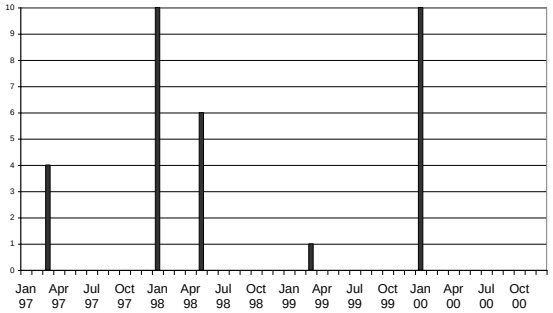
۲- پیشینه تحقیق

اخیراً توجه زیادی به بهبود و کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی قطعات یدکی در کارخانجات تولیدی شده است. از زمانی که هریس [۱] مدل کلاسیک مقدار اقتصادی سفارش را مطرح نمود، تاکنون مطالعات متعددی در خصوص مقدار اقتصادی سفارش انجام گرفته است. اصول و مبانی کنترل موجودی در سیستم‌های تولیدی را در کتاب سیلور و همکاران [۲] می‌توان یافت. همچنین موکستاد [۳] و شربروکه [۴] کتبی را در رابطه با زنجیره تامین و کنترل موجودی قطعات یدکی نوشته‌اند. با بررسی مقالات منتشر شده در زمینه

مدیریت موجودی قطعات یدکی می‌توان گفت این مطالعات عمدتاً پیرامون دو حوزه ۱) مدل‌های پیش‌بینی [۵, ۶] و ۲) مدل‌های کنترل موجودی اقلام یدکی [۷, ۸] طبقه‌بندی می‌شوند.
آنچه در این مقاله، متفاوت از سایر مقالات، به آن پرداخته می‌شود در نظر گرفتن مباحث کنترل موجودی، پیش‌بینی و شبیه‌سازی مصرف اقلام یدکی به صورت همزمان بر روی یک مطالعه موردی در صنعت خودروسازی است. علاوه بر این، مقاله حاضر در نظر دارد تا برای اولین بار نتایج حاصل از شبیه‌سازی تقاضای قطعات یدکی را به سناریوهای تقاضا تبدیل نموده و آنها را در مدل‌سازی جدید ریاضی اعمال کند.

۳- بیان مسأله

به طور کلی، قطعات یدکي به دو گروه اصلي کم مصرف و پرمصرف تقسیم‌بندي مي‌شوند. تقاضا براي قطعات پر مصرف معمولاً ایستا (نرخ خرابي ثابت) است در حالي که براي قطعات کم مصرف تقاضا مي‌تواند به دو صورت متناوب و نامتناوب باشد. تقاضاي متناوب به تقاضاي تصادفي گفته مي‌شود که داراي نسبت بالايي از تقاضاي صفر است. تقاضاي متناوب اغلب نامنظم نیز مي‌باشد؛ بدین معني که داراي تغییرات زیادي در تقاضاهاي غیر صفر است. به طور خلاصه و طبق تعاریف موجود، تقاضاي نامنظم، به تقاضاي تصادفي گفته مي‌شود که انحراف معیار آن بیشتر از میانگین آن باشد [۲]. شکل ۱ یک نمونه از تقاضا با الگوی متناوب را نشان می‌دهد.
نحوه تشخیص کم مصرف یا پر مصرف بودن یک قطعه یدکی خاص در برخی مراجع به صورت عددی بیان شده است. به عنوان مثال در برخی از منابع [۹] مقدار ۱۵ واحد در سال به عنوان مبنا قرار گرفته است در حالی که برخی منابع دیگر [۱۰] معتقند قطعاتی که مصرف آنها در سال کمتر از ۱۲ واحد باشد به عنوان کم مصرف و چنانچه مصرف آنها مساوی و یا بیشتر از ۱۲ واحد باشد پر مصرف تلقی می‌شوند.
مدل‌های پیشنهادی برای پیش‌بینی هر یک از گروه‌های تقاضای پرمصرف و یا کم‌مصرف در جدول ۱ آورده شده است [۹].



شکل ۱. یک نمونه از الگوی تقاضای متناوب که در بسیاری از اوقات صفر است.

در شرکت ایران‌خودرو بخش عمده‌ای از قطعات یدکی در گروه کم‌مصرف قرار گرفته و از الگوی تقاضای متناوب پیروی می‌کنند. در واقع یکی از مشکلات عمده مربوط به این نوع قطعات عدم امکان پیش‌بینی مصرف آنها است چرا که هم زمان مصرف و هم میزان مصرف آنها کاملاً تصادفی است و از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. در جدول ۱ سه روش پیش‌بینی برای این گروه از قطعات توصیه شده است که از بین آنها روش کرستون [۱۱] برای مدل‌سازی آماری در این مقاله بکار گرفته شده است.

جدول ۱. مدل‌هاي پيشنهادي براي پيش‌بيني قطعات يدكي با توجه به الگوي تقاضا

گروه تقاضا	الگوي تقاضا	مدل پيش‌بيني پيشنهادي
موارد پر مصرف	ايستا (نرخ خرابي ثابت)	ميانگين متحرک - ميانگين متحرک موزون - هموارسازي نمايي - رگرسيون
موارد كم مصرف	غير متناوب **متناوب**	ميانگين متحرک - هموارسازي نمايي ميانگين متحرک - **کرستون** - بوت استرپ

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد، تاکنون روشی که سناریوهای مختلف مصرف یک قطعه یدکی را در تعیین مقدار سفارش آن قطعه در نظر گرفته باشد، تا جائیکه نویسندگان این مقاله اطلاع دارند، ارائه نشده است. این مقاله به دنبال یافتن پاسخ به یک سؤال اساسی در مورد قطعات یدکی کم‌مصرف و مهم شرکت ایران خودرو است. به عبارت دیگر این مقاله قصد دارد تا **سطح بهینه موجودی** را برای اقلام یدکی مورد نظر پیدا کند تا بر اساس آن در سفارش‌گزاری و تعیین ظرفیت‌های لازم برای انبارش آنها به مدیران شرکت کمک کند. طبیعتاً روش‌های مورد استفاده برای یافتن پاسخ به این سؤال می‌توانند برای سایر قطعات مشابه نیز بکار گرفته شود.

۴- مدل‌سازی و رویکرد حل مسأله

برای حل مسأله تعیین زمان و مقدار سفارش اقلام یدکی کم‌مصرف از یک رویکرد سلسله مراتبی استفاده شده است. در این روش، ابتدا از طریق مدل‌های آماری و شبیه‌سازی که از روند گذشته مصرف قطعات به دست می‌آید سناریوهای مختلف مصرف برای مدت ۱۲ ماه تهیه می‌شود. پس از آن با استفاده از مدل ریاضی که این مقاله ارائه می‌دهد سطح بهینه موجودی به دست خواهد آمد. در ادامه مدل‌های شبیه‌سازی و سناریوسازی و همچنین مدل ریاضی پیشنهادی توسط این مقاله شرح داده خواهند شد.

۴-۱- مدل آماری

منظور از شبیه‌سازی در این مقاله شبیه‌سازی آماری است بدین صورت که ابتدا مدل آماری سری زمانی داده‌های گذشته هر یک از اقلام یدکی تعیین گردیده و بر اساس آن واریانس داده‌ها برآورد می‌شود. پس از آن با استفاده از تکنیک تولید اعداد تصادفی، متغیرهای

تصادفی مدل تولید و شبیه‌سازی می‌گردند. با جایگذاری متغیرهای تصادفی تولید شده در مدل، سناریوهای مختلف مصرف در دوره‌های مختلف به دست می‌آیند. در این مقاله از مدل کرستون [۱۱] برای تحلیل سری زمانی و شبیه‌سازی استفاده شده است.

مدل کرستون یک روش استاندارد و کارا براي پيش‌بيني تقاضاي متناوب مي‌باشد که اولین بار توسط کرستون [۱۱] در سال ۱۹۷۲ معرفي شد و یک سال بعد توسط رائو [۱۲] و سینتُس و بویلان [۱۳] بهبود پیدا کرد. در این مدل به جاي هموارسازي تقاضا در هر دوره، هموارسازي نمايي براي دو مقدار اندازه تقاضا و بازه‌هاي مابين تقاضا انجام گرفته و این فرایند هموارسازي فقط در دوره‌هايي انجام مي‌پذيرد که داراي تقاضاي غيرصفر هستند.

متغیرهای زیر را در نظر بگیرید.

x_n تقاضا در دوره n

$\hat{m}_n$ تخميني از ميانگين بازه‌هاي مابين دو تقاضاي متوالي

$\hat{X}_n$ تخميني از متوسط اندازه تقاضا

$\hat{X}_{n,n+t}$ تخميني از متوسط اندازه تقاضا در هر دوره که در انتهاي دوره n براي دوره $n+t$ محاسبه شده است.

روابط (۳)-(۱) معادلات مدل کرستون که توسط سینتُس و بویلان [۱۳] ارائه شده است را نشان می‌دهد.

$$\hat{X}_n = \alpha x_n + (1-\alpha)\hat{X}_{n^*} \qquad 0<\alpha<1 \qquad (۱)$$

$$\hat{m}_n = \beta(n-n^*) + (1-\beta)\hat{m}_{n^*} \qquad 0<\beta<1 \qquad (۲)$$

$$\hat{X}_{n,n+t} = \left(1-\frac{\beta}{2}\right)\frac{\hat{X}_n}{\hat{m}_n} \qquad t=1,2,3,... \qquad (۳)$$

در روابط فوق n^* اندیس آخرین دوره‌اي است که هموارسازي براي دوره‌هاي ماقبل انجام شده است و α و β ضرایب دلخواهي هستند و اغلب $\alpha=\beta$ فرض مي‌شود. مدل کرستون یکی از معروفترین و پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی برای مصرف قطعات یدکی است. خوشبختانه بسته نرم‌افزاری R اکثر مدل‌های پیش‌بینی از جمله مدل کرستون را پشتیبانی می‌کند و می‌توان از آن برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی مصرف قطعات یدکی استفاده نمود. در این مقاله برای شبیه‌سازی آماری و سناریوسازی از مدل کرستون در محیط برنامه‌نویسی R استفاده می‌شود که در آن به تعداد ۱۰۰۰ سناریو برای ۱۲ دوره تولید می‌شود. برای کاهش تعداد سناریوها به ۱۰ سناریو از الگوریتم ۱ که توسط ونگ و همکاران [۱۴] ارائه شده است استفاده می‌شود. الگوریتم ۱ به صورت زیر شرح داده شده است.

ابتدا فرض کنید N تعداد سناریوهاي مجزاي تولید شده ابتدائی باشد، سناریو sام $(s=1,2,...,N)$ داراي احتمال (درصد فراواني) p_s بوده و $DT_{s,s'}$ نشان دهنده فاصله تعریف شده دو سناریو (s,s') باشد؛ الگوریتم ۱ تعداد سناریوهاي تولید شده را به تعداد مورد نظر کاهش می‌دهد.

الگوریتم۱. کاهش سناریو

گام ۱: فرض کنید Y مجموعه سناریوهاي موجود باشد. ابتدا فاصله همه سناریوها را دو به دو، $DT_{s,s'}$، محاسبه کنید. گام‌هاي ۲ تا ۴ را تکرار کنید تا تعداد سناریوهاي موجود در Y به تعداد دلخواه برسد.

گام ۲: براي هر سناریو k، سناریویي را پیدا کنید (آن سناریو را r_k بنامید) که کمترین فاصله با سناریو k را داشته باشد.

گام ۳: سناریو dام را به نحوي انتخاب کنید که داراي کمترین مقدار $p_d \times DT_{d,r_d}$ باشد.

گام ۴: سناریو d را از مجموعه Y حذف کنید و قرار دهید $p_{r_d} = p_{r_d} + p_d$.

۴-۲- مدل ریاضي

در این بخش مدل ریاضی تعیین سطح بهینه موجودی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف مصرف ارائه می‌شود. ابتدا پارامترها و متغیرهای مدل به شرح ذیل معرفی می‌شوند.

b هزینه کمبود هر واحد موجودي از قطعه مورد نظر در دوره
h هزینه نگهداری هر واحد موجودي از قطعه مورد نظر در دوره
A هزینه هر بار سفارش
$d_{t,s}$ تقاضاي برآورد شده دوره tام تحت سناریوي sام
P_s احتمال رخداد سناریوی s ام
L زمان تامین قطعه
$Q_{t,s}$ متغیر نامنفي که نشان دهنده مقدار سفارش از قطعه مورد نظر در دوره tام تحت سناریوی sام است
$x_{t,s}$ متغیر دودویي که در صورت سفارش‌دهي در دوره tام مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد
$I_{t,s}^{+}$ متغیر نامنفي که نشان دهنده موجودي انتهاي دوره tام تحت سناریوي sام است
$I_{t,s}^{-}$ متغیر نامنفي که نشان دهنده کمبود انتهاي دوره tام تحت سناریوي sام است
S متغیر حداکثر سطح مجاز موجودی

روابط (۴)-(۵) مدل ریاضی را نشان می‌دهند. رابطه (۶) محاسبه تابع هدف را نشان می‌دهد. رابطه (۸) معادله تعادل موجودی است. محدودیت (۹) مقدار سفارش را به متغیر دودویی سفارش‌دهی وابسته می‌کند. محدودیت (۱۰) نشان دهنده آن است که موجودي خالص انتهاي دوره نباید از حداکثر سطح مجاز موجودي تجاوز کند. دامنه تغییر متغیرها در محدودیت‌های (۱۴)-(۱۱) مشخص شده است. در این مدل‌سازی سعی شده است تا با بکارگیری حداکثر اطلاعات از مسأله

مطلوب‌ترین خروجی حاصل شود. مدل ریاضی ارائه شده از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط بوده و به وسیله نرم‌افزارهای تجاری موجود در ابعاد متوسط و بعضاً در ابعاد بزرگ قابل حل می‌باشد.

$$min\ Z = \sum_s P_s \times \left(h\sum_t I^+_{t,s} + b\sum_t I^-_{t,s} + A\sum_t x_{t,s} \right) \qquad (۷)$$

s.t.

$$I^+_{t-1,s} - I^-_{t-1,s} + Q_{t-L,s} = I^+_{t,s} - I^-_{t,s} + d_{t,s} \qquad \forall t,s \qquad (۸)$$

$$Q_{t,s} \le M x_{t,s} \qquad \forall t,s \qquad (۹)$$

$$S \ge I^+_{t,s} - I^-_{t,s} \qquad \forall t,s \qquad (۱۰)$$

$$x_{t,s} \in \{0,1\} \qquad \forall t,s \qquad (۱۱)$$

$$Q_{t,s} \ge 0 \qquad \forall t,s \qquad (۱۲)$$

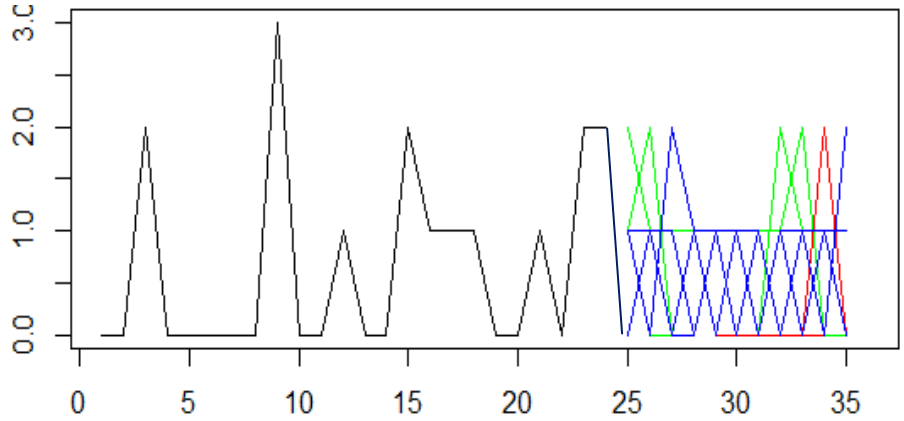
$$I^+_{t,s}, I^-_{t,s} \ge 0 \qquad \forall t,s \qquad (۱۳)$$

$$S \ge 0 \qquad (۱۴)$$

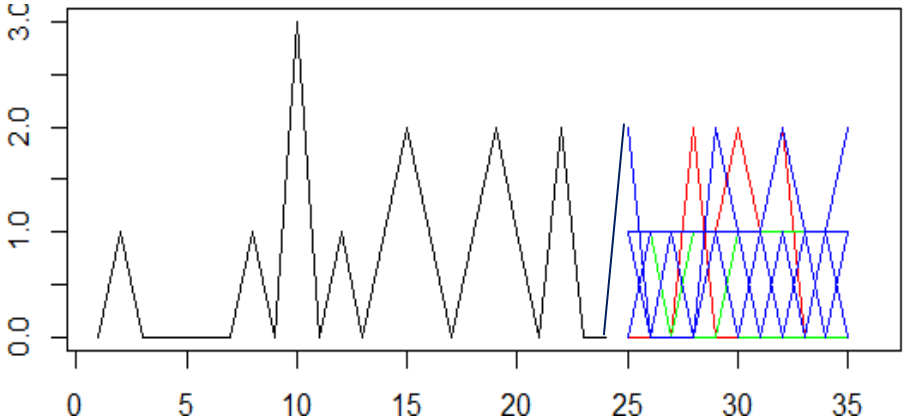
۵- نتایج محاسباتی

در این مقاله از بسته نرم‌افزاری R نسخه ۶/۱، به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزار موجود، برای شبیه‌سازی و سناریوسازی استفاده شده است. در شبیه‌سازی مدل‌های برازش شده برای هر یک از دو قطعه یدکی با کدهای ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸ و ۴۲۱۹۸۵۰۶۲۰۱۳۱ به تعداد ۱۰۰۰ سناریو تولید می‌شود. با استفاده از الگوریتم ۱ تعداد سناریوهای تولید شده از ۱۰۰۰ سناریو به ۱۰ سناریو کاهش داده می‌شود. شکل‌های ۲ و ۳ نمودار سری زمانی همراه با سناریوهای تولید شده برای قطعات مذکور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود رفتار مصرف این قطعات متناوب بوده و جزو اقلام گروه کم‌مصرف به شمار می‌روند که این رفتار در سناریوهای تولید شده نیز قابل مشاهده است. نتایج عددی سری زمانی و سناریوهای تولید شده همراه با احتمال رویداد هر سناریو در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است که به عنوان ورودی‌های مدل ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پس از حل مدل ریاضی مقدار متغیرهای $Q_{t,s}$، $x_{t,s}$، $I_{t,s}$ و S تعیین می‌شود. از بین این متغیرها، تنها متغیر S مورد نیاز این مسأله بوده و سایر متغیرها از نظر عملی کاربردی نخواهند داشت چراکه مقدار آنها به اندیس سناریو s وابسته بوده و به نوعی متغیر کمکی محسوب می‌شوند. به عبارت دیگر مشخص نیست که این متغیرهای وابسته به سناریو کاربردی باشند یا خیر چراکه از بین سناریوهای موجود حداکثر یکی از آنها اتفاق می‌افتد و یا ممکن است هیچ یک از آنها رخ ندهد. بنابراین در اینجا پس از حل مدل توسط نرم افزار سیپلکس فقط مقدار متغیر S گزارش می‌شود.



شکل ۲. نمودار سری زمانی و سناریوسازی برای قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸



شکل ۳. نمودار سری زمانی و سناریوسازی برای قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۶۲۰۱۳۱

پس از حل مدل ریاضی برای قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸ حداکثر سطح مجاز موجودی برابر با $S^* = 1$ و برای قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸ این مقدار برابر با $S^* = 4$ به دست آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده حداکثر ۱ واحد از قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸ و ۴ واحد از قطعه یدکی با کد ۴۲۱۹۸۵۰۰۹۱۴۳۸ باید در انبار نگهداری شود و به ازای هر بار کاهش یک واحدی قطعه از سطوح تعیین شده S^* به اندازه یک واحد سفارش از آن قطعه صادر می‌شود.

جدول ۲. نتایج سناریوسازی قطعه یدکی با کد ٤٢١٩٨٥٠٠٩١٤٣٨

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
مصرف ۹۴	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۱	
مصرف ۹۵	۰	۰	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۲	۲	احتمال
سناریو ۱	۲	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	%۸
سناریو ۲	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱۰%
سناریو ۳	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۶%
سناریو ۴	۲	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۲	۱	۱	۱	۸%
سناریو ۵	۰	۲	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۲	۰	۰	۸%
سناریو ۶	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱۲%
سناریو ۷	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱۷%
سناریو ۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱۱%
سناریو ۹	۱	۱	۰	۲	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱۱%
سناریو ۱۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۲	۸%

جدول ۳. نتایج سناریوسازی قطعه یدکی با کد ٤٢١٩٨٥٠٦٢٠١٣١

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
مصرف ۹۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۳	۰	۱	
مصرف ۹۵	۰	۱	۲	۱	۰	۱	۲	۱	۰	۲	۰	۰	احتمال
سناریو ۱	۰	۱	۱	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۶%
سناریو ۲	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۲	۱	۰	۰	۱	۱	۸%
سناریو ۳	۱	۱	۱	۰	۲	۰	۱	۱	۲	۰	۱	۱	۶%
سناریو ۴	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۲۴%
سناریو ۵	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱۴%
سناریو ۶	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱۱%
سناریو ۷	۲	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۶%
سناریو ۸	۱	۲	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۲	۱	۱	۱	۷%
سناریو ۹	۰	۱	۰	۱	۰	۲	۱	۱	۰	۱	۱	۲	۱۰%
سناریو ۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۸%

نتایج به دست آمده توسط حل مدل ریاضی با وضعیت موجود شرکت مطابقت داشته و از نظر منطقی درست است. به عبارت دیگر مدل ارائه شده از اعتبار کافی برای حل مسأله برای سایر قطعات یدکی برخوردار بوده و از نظر کارشناسان شرکت مورد تأیید است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله، مسأله سطح بهینه موجودی قطعات یدکي انبارهاي غیرتولیدي شرکت ایران‌خودرو به نحوی که هزینه‌های نگهداری، کمبود و سفارش‌گزاری کل کمینه شود مورد بررسي قرار گرفته است. در این خصوص یک مدل دو مرحله‌ای ارائه شده است. در مرحله اول سری زمانی مصرف یک قطعه یدکی خاص برای دو سال گذشته مورد بررسی قرار گرفته و مدل کرستون برای آن برازش شده است. سپس با استفاده از مدل برازش شده به تعداد مطلوب سناریوی مصرف برای قطعه مورد نظر تا یک سال آینده تولید می‌شود تا به عنوان ورودی مرحله دوم از آنها استفاده شود. در مرحله دوم یک مدل ریاضی توسعه داده شده است که سناریوهای تولید شده در مرحله قبل را گرفته و سطح بهینه موجودی قطعه یدکی مورد نظر را در مدت یک سال آینده گزارش می‌کند. مزیت اصلی مدل ارائه شده نسبت به مدل‌های قبلی در ادبیات کنترل موجودی در این است که سناریوهای مختلف مصرف را برای تعیین سطح بهینه موجودی در نظر می‌گیرد که این امر باعث افزایش دقت در جواب مدل می‌شود. مدل ارائه شده در زمان خیلی کوتاه توسط نرم افزار سیپلکس قابل حل بوده و در هر دوره از برنامه‌ریزی می‌توان با بروز رسانی اطلاعات ورودی مدل از نتایج آن استفاده کرد. نتایج به دست آمده از روش ارائه شده توسط این مقاله مورد تأیید کارشناسان بوده و نشان می‌دهد که از

مدل ارائه شده می‌توان برای برنامه‌ریزی موجودی تمام اقلام یدکی کم‌مصرف شرکت استفاده نمود. به عنوان فعالیت‌هاي آتي، با توجه به اهمیت تصمیم‌هاي نگهداري-تعمیرات پیشگیرانه و بازرسي‌ها بر هزینه‌هاي ناشي از موجودي قطعات یدکي، پیشنهاد مي‌شود مدل‌هاي همزمان تعیین سیاست بهینه موجودي و سیاست بهینه نگهداري-تعمیرات مورد بررسي و اجرا شود. بدین منظور باید علاوه بر تصمیم‌های مربوط به مدل‌های موجودی، تصمیم‌های مربوط به سیاست‌های نگهداری-تعمیرات را نیز در نظر گرفت به گونه‌ای مشابه با تحقیق فعلی از ابزارهای شبیه‌سازی و سناریوسازی نیز استفاده شود. همچنین رویکرد شبیه‌سازی گسسته-پیشامد می‌تواند زمینه مناسبی برای مطالعه دقیق‌تر مصرف قطعات یدکی باشد.

مراجع

[۱] F. W. Harris, "How many parts to make at once," *Operations Research*, vol. 38, no. 6, pp. 947-950, 1990.

[۲] E. A. Silver, D. F. Pyke, and R. Peterson, *Inventory management and production planning and scheduling*. Wiley New York, 1998.

[۳] J. A. Muckstadt, *Analysis and algorithms for service parts supply chains*. Springer Science & Business Media, 2004.

[۴] C. C. Sherbrooke, *Optimal inventory modeling of systems: multi-echelon techniques*. Springer Science & Business Media, 2006.

[۵] R. Hemeimat, L. Al-Qatawneh, M. Arafeh, and S. Masoud, "Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis," *American Journal of Operations Research*, vol. 6, no. 02, p. 113, 2016.

[۶] N. Altay, L. A. Litteral, and F. Rudisill, "Effects of correlation on intermittent demand forecasting and stock control," *International Journal of Production Economics*, vol. 135, no. 1, pp. 275-283, 1// 2012.

[۷] M. Guajardo, M. Rönnqvist, A. M. Halvorsen, and S. I. Kallevik, "Inventory management of spare parts in an energy company," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 66, no. 2, pp. 331-341, 2015.

[۸] D. Çelebi, "Inventory control in a centralized distribution network using genetic algorithms: A case study," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 87, pp. 532-539, 9// 2015

[۹] M. Ben-Daya, D. Ait-Kadi, S. O. Duffuaa, J. Knezevic, and A. Raouf, *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer, 2009.

[۱۰] زواشکیانی، آزادگان، و ربیعی، مدیریت انبار و قطعات یدکی. انتشارات آریانا قلم، ۱۳۹۴.

[۱۱] J. D. Croston, "Forecasting and stock control for intermittent demands," *Operational Research Quarterly*, pp. 289-303, 1972.

[۱۲] A. V. Rao, "A comment on: forecasting and stock control for intermittent demands," *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, vol. 24, no. 4 ,pp. 639-640, 1973.

[۱۳] A. A. Syntetos and J. E. Boylan, "The accuracy of intermittent demand estimates," *International Journal of forecasting*, vol. 21, no. 2, pp. 303-314, 2005.

[۱۴] J. Wang, M. Shahidehpour, and Z. Li, "Security-constrained unit commitment with volatile wind power generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 1319-1327, 2008.