

## ارائه سیاست‌های تامین موجودی و تعیین وسیله حمل بهینه و اندازه بهینه

### سفارش در شرایط بحرانی

(مطالعه موردی: ایران خودرو خراسان)

محمدعلی پیرایش نقاب<sup>۱\*</sup>، رضا جوانشیر<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

#### چکیده

در ایران خودرو خراسان، سیاست تامین بعضی از اقلام بر اساس مدل ساده قطعی (مدل ویلسون) است. بعضی مواقع بنا به دلایلی دریافت کالا در زمان برنامه‌ریزی شده محقق نمی‌شود. این وضعیت را به دلیل اینکه خط تولید در آستانه توقف قرار می‌گیرد، شرایط بحرانی می‌نامیم. هدف از این مقاله، ارائه سیاست‌های مختلف تامین موجودی در شرایط بحرانی است. در مورد هر یک از سیاست‌ها، تابع هزینه که شامل هزینه‌های توقف خط، سفارش دهی، نگهداری و حمل و نقل است، مدل‌سازی شده و بر اساس کمینه کردن آن، نوع وسیله حمل و مقدار بهینه سفارش تعیین می‌گردد. مدل این مقاله به صورت عددی برای دو قطعه از اقلام ایران خودرو خراسان به کار برده شد. نتایج نشان می‌دهد به‌کارگیری سیاست‌های پیشنهادی به کاهش هزینه نسبت به سیاست فعلی ایران خودرو خراسان منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیاست کنترل موجودی، شرایط بحرانی، زمان تحویل متغیر، حمل و نقل.

## ۱- مقدمه

درآمدها (برای مثال، کاهش زمان تحویل باعث افزایش مزیت رقابتی به علت افزایش انعطاف‌پذیری می‌شود) یکی از مفاهیم اساسی در مدیریت عملیات است. در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با کنترل موجودی، هم مدل‌های قطعی و هم احتمالی، زمان تحویل به عنوان یک متغیر غیر قابل کنترل و ثابت در نظر گرفته می‌شود، با این حال، در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، زمان تحویل متغیر و قابل کنترل است.

با توجه به اهمیتی که برای موجودی‌ها بیان شد و اثری که زمان تحویل بر مدیریت موجودی‌ها دارد در این مقاله، تعیین سیاست تامین موجودی در شرایط بحرانی با زمان تحویل متغیر بررسی شده است. در اینجا شرایط بحرانی را به زمانی اطلاق می‌کنیم که به دلایل وجود فاکتورهای عدم اطمینان، که در شرایط واقعی معمولاً زیاد اتفاق می‌افتد، موجودی به طور ناخواسته به صفر کاهش پیدا می‌کند و خطوط تولید در آستانه توقف قرار می‌گیرند.

ایده این موضوع از ایران خودرو خراسان گرفته شده است. واحد لجستیک ایران خودرو خراسان در تأمین قطعات مورد نیاز تولید ممکن است با شرایط بحرانی روبه‌رو شود. به صورت کلی، این شرایط ممکن است به یکی از دلایل زیر رخ دهد:

- عدم ارسال محموله توسط تأمین کننده در زمان برنامه‌ریزی شده؛

- رد کل محموله دریافتی در بازرسی کیفی قطعات ورودی؛

- افزایش یکباره تقاضا و ...

یکی از اجزای زمان تحویل سفارش‌های ایران خودرو خراسان زمان حمل و نقل است. زمان حمل و نقل متغیر و قابل کنترل است؛ به این معنی که با صرف هزینه بیشتر

کنترل و نگهداری موجودی یکی از مسائلی است که در بخش‌های مختلف اقتصاد مورد توجه قرار می‌گیرد. این موضوع بسیار مهم است؛ به گونه‌ای که تمامی سازمان‌ها به صورت روزانه با موجودی‌ها درگیر هستند. غفلت از اهمیت موجودی در بسیاری از سازمان‌ها می‌تواند به معنای تعطیلی و شکست سازمان باشد؛ مخصوصاً اگر دیگر فاکتورهای تولید به خوبی برای دستیابی به نیازهای مشتریان مدیریت نگردند.

سازمان‌ها برای تولید کالا و ارائه خدمت، به مواد و قطعات نیاز دارند و از عرضه‌کنندگان آن تأمین می‌نمایند. هدف اصلی از مدیریت مواد اولیه و قطعات مورد نیاز، این است که اولاً در هنگام نیاز، کالا و قطعات به میزان مورد نظر موجود باشد و ثانیاً مقدار کالا و قطعات به اندازه "مناسب" باشد؛ یعنی نه آنقدر زیاد که هزینه انبارداری فوق‌العاده‌ای را بر سازمان تحمیل نماید و نه آنقدر کم که خط تولید متوقف شود. به عبارت دیگر، منافع ناشی از دارا بودن موجودی بیش از هزینه‌های کمبود آن باشد.

## ۱-۱- ضرورت بررسی مدل

یکی از فاکتورهایی که تأثیر زیادی بر میزان موجودی‌ها دارد و در مدیریت موجودی‌ها باید به صورت دقیق کنترل شود، زمان تحویل موجودی‌هاست. زمان تحویل فاصله زمانی بین انجام سفارش تا دریافت کالا است. پویایی و عدم قطعیت در زمان تحویل به شکل‌های مختلف در پژوهش‌های مرتبط با این موضوع در نظر گرفته شده است. زمان تحویل به دلیل علت تأثیرش بر هزینه‌ها (برای مثال، کاهش در زمان تحویل مواد اولیه باعث کاهش سطح موجودی در خط تولید می‌شود) و

می‌کنند. هدف آنها انتخاب تامین‌کننده از بین چند تامین‌کننده است. لی و چن (۲۰۱۰) سیستم موجودی یک خرده فروش را بررسی می‌کنند که کالای خود را از یک تامین‌کننده تهیه می‌کند. تامین‌کننده قابل اطمینان نبوده، همواره در دسترس نیست. سیاستی که آنها برای کنترل موجودی خرده فروش در نظر گرفته‌اند، سیاست مرور دوره‌ای است. مدتی از طول یک دوره تامین‌کننده در دسترس است و در غیر از آن در دسترس نیست. نویسندگان مقاله با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای میانگین زمانی که تامین‌کننده در دسترس است، سناریوهای مختلف تامین کالا را بررسی می‌کنند. چن و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل کنترل موجودی را بررسی می‌کنند که در آن کالا از چندین تامین‌کننده می‌تواند تهیه شود. به دلیل وجود ریسک‌هایی ممکن است تامین‌کننده‌ای نتواند سفارش خود را در زمان برنامه‌ریزی شده ارسال نماید. در این شرایط کالا از تامین‌کننده دیگری تهیه می‌شود. موضوع مورد بررسی در این مقاله مکانیابی تامین‌کنندگان است؛ به طوری که هزینه احداث مکان تامین‌کنندگان و هزینه‌های سیستم موجودی کمینه گردد. چن و همکاران (۲۰۱۲) و گیری (۲۰۱۱) سیستم موجودی یک خرده فروش را مطالعه می‌کنند که کالای مورد نیاز خود را از دو تامین‌کننده تهیه می‌کند. تامین‌کننده اول ارزاتر است، اما قابل اعتماد نیست. تامین‌کننده دوم گرانتز ولی قابل اعتماد است. هدف آنها تعیین اندازه بهینه سفارش از هر کدام از تامین‌کنندگان است. سیاستی که در این تحقیق برای مقابله با شرایط بحرانی اتخاذ می‌شود، بر اساس زمان تحویل متغیر از طریق به کارگیری وسایل حمل و نقل متفاوت است. در ادامه تعدادی از پژوهش‌های انجام شده با موضوع زمان تحویل متغیر را مرور می‌کنیم. بسیاری از مقالات مرتبط

می‌توان از وسیله حمل و نقل سریعتر استفاده کرد و در نهایت، زمان تحویل را کوتاه نمود.

سیاستی که واحد لجستیک ایران خودرو خراسان برای مقابله با شرایط بحرانی اتخاذ می‌کند، این است که اقدام به سفارش‌گذاری با استفاده از سریعترین وسیله حمل می‌نماید و همزمان با آن، برای اطمینان از برآورده شدن موجودی مورد نیاز، سفارش دیگری با استفاده از وسیله‌ی حمل ارزاتر(معمولاً وسیله‌ای که در شرایط عادی و برنامه‌ریزی شده از آن استفاده می‌شود) نیز صادر می‌کند. به عبارت دیگر، در شرایط بحرانی دو سفارش صادر می‌شود و کارشناس واحد لجستیک اندازه سفارش‌ها را بدون رویکرد علمی و به صورت تجربی تعیین می‌کند.

در این مقاله، قصد داریم سیاست‌های دیگری را که می‌توان برای مقابل با شرایط بحرانی اتخاذ نمود معرفی و بررسی نماییم.

## ۱-۲- مرور ادبیات

شرایط بحرانی ناشی از وجود ریسک و عدم قطعیت در تامین کالا است. گیولو و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل موجودی را در شرایطی که عدم قطعیت در تامین کالا وجود دارد، بررسی می‌کنند. هدف آنها کمینه کردن هزینه‌های نگهداری و کمیود در یک افق زمانی محدود است. به دلیل اینکه افق زمانی محدود است، آنها از طریق یک مدل برنامه‌ریزی پویا مقدار حداکثر سفارش در هر دوره را تعیین می‌کنند. محبی (۲۰۰۳) و لی و همکاران (۲۰۰۴) اثر عدم قطعیت در تامین کالا را بر روی سیاست‌های کلاسیک مرور دائم و مرور دوره‌ای بررسی می‌کنند. دادا و همکاران (۲۰۰۷) مدل یک دوره‌ای را در شرایط عدم قطعیت در تامین‌کننده مطالعه

توزیع‌های مختلف است، ارائه می‌نمایند. هریچ و بن-دایا (۱۹۹۹) مدلی با ترکیبی از سفارش عقب افتاده و فروش از دست رفته پیشنهاد می‌کنند و کاهش بهینه در زمان تحویل در تعدادی از مدل‌های موجودی احتمالی، که با تصمیم‌گیری میزان بهینه سفارش ترکیب شده است، تعیین می‌گردد. پن و همکاران (۲۰۰۲) هزینه هر کدام از اجزای زمان تحویل را به عنوان تابعی از دو مقدار سفارش و زمان تحویل کاهش یافته تعریف می‌کنند و ابتدا مدلی با تقاضای نرمال ارائه می‌شود و پس از آن مدل موجودی با تابع توزیع ناشناخته برای تقاضا مورد بحث قرار می‌گیرد. چاندر و گرابیسب (۲۰۰۵) مدیریت موجودی، با توجه به زمان تحویل متغیر و هزینه تدارکات، را بررسی کرده‌اند و انتخاب اندازه زمان تحویل براساس منافع و هزینه‌های کاهش زمان تحویل و افزایش هزینه تدارکات را مطالعه نموده و مدلی برای ارتباط بین بهینگی موجودی و هزینه تدارکات توسعه داده‌اند. چن و چانگ (۲۰۰۷) مدل موجودی تقاضای فصلی را با توجه به زمان تحویل متغیر و محدودیت منابع ارائه می‌نمایند. لین (۲۰۰۸) مدل بازنگری دوره‌ای موجودی، شامل زمان تحویل متغیر و سفارش عقب افتاده به منظور بهینه نمودن همزمان طول دوره بازنگری، نرخ سفارش عقب افتاده و زمان تحویل را با هدف مینیم نمودن متوسط کل هزینه سالیانه بررسی می‌کند. یانگ و همکاران (۲۰۰۹) نرخ سفارش عقب افتاده با زمان تحویل متغیر را زمانی که قابل تفکیک به چندین جزء و قابل کاهش با اعمال هزینه است، بررسی و همزمان مقدار سفارش بهینه و زمان تحویل را با هدف کاهش هزینه کل موجودی تعیین می‌نمایند و با استفاده از تئوری فازی به تعریف فاکتورهای عدم قطعیت می‌پردازند. رویچاودھاری (۲۰۰۹) مدل موجودی

با مسائل کنترل موجودی زمان تحویل را به عنوان یک متغیر غیر قابل کنترل در نظر گرفته‌اند (کاندانس، ۱۹۸۷، هدلی و ویتین، ۱۹۶۳)، ولی در بسیاری از موقعیت‌های عملی زمان تحویل قابل کنترل است. به عبارت دیگر، زمان تحویل می‌تواند با شارژ هزینه اضافی کوتاه گردد، که باعث کاهش هزینه نگهداری موجودی اطمینان می‌گردد. لیائو و شیو (۱۹۹۱) مدتی را برای زمان تحویل پیشنهاد می‌کنند که می‌توان آن را به سه جزء مستقل تقسیم کرد: هزینه‌های مدیریتی، هزینه حمل و نقل و هزینه تسریع در تأمین‌کننده. هدف این روش، تعیین طول زمان تحویل است؛ به طوری که هزینه مورد انتظار برای سیاست مرور پیوسته مینیمم گردد. مدلی عمومی‌تر توسط بن-دایا و راثوف (۱۹۹۴) پیشنهاد شده است که رویکرد لیائو و شیو، را با افزودن مقدار سفارش به عنوان یک متغیر تصمیم توسعه داده‌اند. در مدل لیائو و شیو تنها زمان تحویل به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است و فرض می‌کنند که میزان سفارش از پیش تعیین شده است، ولی در مدل توسعه یافته بن-دایا و راثوف علاوه بر زمان تحویل، مقدار سفارش نیز به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. اویانگ و همکاران (۱۹۹۶) مدل بن-دایا و راثوف را با در نظر گرفتن کمبود توسعه می‌دهند. موون و چوی (۱۹۹۸) روشی ابتکاری برای بهبود هر دو مقدار سفارش و نقطه سفارش در مدل اویانگ و همکاران ایجاد کرده‌اند و لن و همکاران (۱۹۹۹) روش حل ساده‌ای برای بهبود آن مدل پیشنهاد می‌کنند. اویانگ و وو (۱۹۹۷) مدل ارائه شده اویانگ و همکاران را با در نظر گرفتن نرخ سفارش عقب افتاده به عنوان متغیر تصمیم توسعه داده‌اند و فرض می‌کنند این نرخ به طول زمان تحویل در مدت کمبود وابسته است و دو مدل جداگانه با فرض اینکه زمان تحویل دارای تابع

قبل از معرفی سیاست‌ها، مفروضاتی را که در مدل‌سازی سیاست‌ها استفاده می‌شود را معرفی می‌کنیم:

- تقاضا قطعی و نرخ آن ثابت و یکنواخت است.
- قیمت واحد کالا مشخص و ثابت است و تخفیف قیمت کالا وجود ندارد.
- افق برنامه‌ریزی نامحدود است.
- هزینه‌های نگهداری متناسب با متوسط سطح موجودی است.
- کمبود مجاز نیست.
- زمان تحویل به وسیله حمل انتخابی وابسته است.
- هزینه سفارش‌دهی ثابت بوده، هزینه حمل را در بر نمی‌گیرد.

- ناوگان حمل متشکل از وسایل حمل مختلف است. هر وسیله حمل هزینه‌ای ثابت دارد که به میزان استفاده از ظرفیت آن بستگی ندارد و هزینه متغیری دارد که به تعداد حمل کالا وابسته است.

پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در این مسأله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

D: نرخ تقاضای کالا در واحد زمان.

A: هزینه ثابت سفارش‌دهی.

h: هزینه نگهداری یک واحد کالا در واحد زمان.

C: هزینه توقف خط به ازای یک واحد کمبود.

$l_i$ : زمان تحویل وسیله حمل  $A_i$ ،  $i=1,2,\dots,n$ .

$R_i$ : هزینه ثابت استفاده از وسیله حمل  $A_i$ ،  $i=1,2,\dots,n$ .

$V_i$ : هزینه متغیر استفاده از وسیله حمل  $A_i$ ،

$i=1,2,\dots,n$ .

$Q_{wi}$ : اندازه بهینه سفارش در صورت استفاده از

وسيله حمل  $A_i$  در شرایط عادی،  $i=1,2,\dots,n$ .

احتمالی برای کالاهای فاسدشدنی را با فرض اینکه قیمت فروش تابعی کاهشی از زمان باشد، بررسی و مطالعه کرده است. در این مدل، تقاضا و زمان تحویل هر دو تصادفی هستند و با هدف ماکزیمم نمودن سود میزان سفارش را تعیین می‌نماید. لو (۲۰۰۹) در مدل مرور پیوسته، در شرایط زمان تحویل قابل کنترل، با هدف مینیمم نمودن متوسط هزینه سالیانه نقطه‌ی سفارش مجدد را تعیین می‌نماید. فرگانی و همکاران (۲۰۱۱) مدل موجودی با سیاست مرور پیوسته، شامل کمبود و هزینه نگهداری متغیر را هنگامی که زمان تحویل با اعمال هزینه قابل کاهش است، مطالعه و زمان تحویل بهینه و مقدار سفارش بهینه را تعیین می‌نمایند.

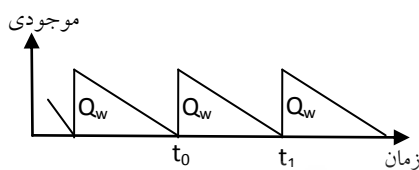
بر اساس مرور ادبیات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت در زمینه‌ی تامین موجودی در شرایط بحرانی با زمان تحویل متغیر تحقیقی انجام نشده است.

## ۲- معرفی مدل

شرایط بحرانی یعنی اینکه دریافت مواد و قطعات مورد نیاز خط تولید در زمان برنامه‌ریزی شده محقق نشود. در این شرایط وجود هزینه‌هایی مانند هزینه توقف خط ایجاد می‌کند سیاستی برای تامین مواد و قطعات مورد نیاز اتخاذ شود. چارچوب سیاست‌هایی که در این مقاله معرفی می‌شود، بر این اساس است که می‌توان زمان تحویل سفارش را از راه به خدمت گرفتن وسایل حمل و نقل متفاوت تغییر داد. معیار ارزیابی سیاست‌ها، هزینه کل است که شامل هزینه توقف خط، هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری و هزینه حمل و نقل می‌شود. متغیرهای تصمیم، در هر یک از سیاست‌ها، نوع وسیله حمل و اندازه سفارش است.

محاسبه و بر اساس کمترین مقدار  $K_{wi}$ ، مقدار بهینه سفارش ( $Q_w$ ) و وسیله حمل بهینه را در شرایط عادی تعیین می‌کنیم.  $R^*$  و  $V^*$  را به ترتیب به عنوان هزینه‌های ثابت و متغیر استفاده از وسیله حمل بهینه در شرایط عادی در نظر می‌گیریم.

در شرایط عادی سفارش‌ها در زمان برنامه‌ریزی شده تأمین می‌گردد و نمودار موجودی به صورت شکل ۱ خواهد بود.



شکل ۱. نمودار موجودی- زمان (شرایط عادی)

فرض می‌کنیم در زمان  $t_0$  مطابق شکل ۲ شرایط بحرانی پیش آید؛ یعنی سفارش  $Q_w$  بنا به دلایلی، در زمان  $t_0$  دریافت نگردد و سطح موجودی به صفر رسیده و در نتیجه خط تولید در آستانه توقف قرار گیرد. در این صورت، می‌توان سیاست‌های زیر را به عنوان آلت‌رناتیوهای پیش روی مدیریت برای مقابله با شرایط بحرانی تعریف نمود.

- ۱- عدم صدور سفارش بحرانی؛
  - ۲- صدور یک سفارش بحرانی محدود؛
  - ۳- صدور یک سفارش بحرانی آزاد؛
  - ۴- سیاست ایران خودرو خراسان.
- منظور از سفارش بحرانی، سفارشی است که هنگام وقوع شرایط بحرانی برای مقابله با این شرایط صادر می‌شود. در ادامه، برای هر یک از سیاست‌ها، تابع هزینه را که جمع هزینه‌های توقف خط، سفارش‌دهی، نگهداری و حمل و نقل است، شناسایی کرده و بر اساس آن مقدار

$K_{wi}$ : مینیمم هزینه (شامل هزینه‌های سفارش دهی، نگهداری و استفاده از وسیله حمل  $i$ ام،  $i=1,2,\dots,n$ ) در شرایط عادی.

$Q_w$ : اندازه بهینه سفارش در شرایط عادی.

$T_w$ : طول فاصله زمان دریافت دو سفارش متوالی در شرایط عادی.

$R^*$ : هزینه ثابت وسیله حمل بهینه در شرایط عادی.

$V^*$ : هزینه متغیر وسیله حمل بهینه در شرایط عادی.

$K_{ji}$ : هزینه مقابله با شرایط بحرانی (شامل هزینه‌های توقف خط، سفارش دهی، نگهداری و حمل و نقل) در صورت اتخاذ سیاست  $i$ ام و استفاده از وسیله حمل  $i$ ام.

$F$ : هزینه ثابت تغییر در برنامه سفارش‌ها.

$T_{max}$ : ماکزیمم طول بازه پوشش داده شده توسط

سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی.

$n$ : تعداد وسایل حمل و نقل.

شرایط عادی، شرایطی است که سیستم تأمین موجودی با مشکل خاصی مواجه نیست. با توجه به اینکه تقاضا قطعی و ثابت است و کمبود مجاز نیست، لذا در شرایط عادی مدل موجودی مطابق با مدل ساده قطعی است (شکل ۱). در شرایط عادی، مقدار اقتصادی سفارش و مینیمم هزینه کل طبق مدل ویلسون قابل محاسبه است:

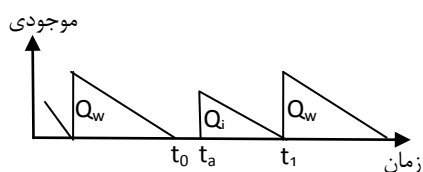
$$K_{wi} = (A + R_i) \frac{D}{Q} + h \frac{Q}{2} + V_i D \quad (1)$$

$$= \sqrt{2D(A + R_i)} h + V_i D, i = 1, \dots, n$$

$$Q_{wi} = \sqrt{\frac{2D(A + R_i)}{h}} \quad (2)$$

برای محاسبه اندازه بهینه سفارش و تعیین وسیله حمل بهینه، به ازای همه وسایل حمل مقادیر  $K_{wi}$  ( $i=1, \dots, n$ ) را

برابر با زمان تحویل وسیله حمل  $i$  است. برای اینکه تغییر در برنامه عادی سفارش‌ها رخ ندهد و از زمان  $t_1$  به بعد شرایط عادی دنبال شود، لازم است اندازه سفارش طوری انتخاب شود تا در زمان  $t_1$  به اتمام برسد؛ به عبارت دیگر، اندازه این سفارش محدود به این است که فقط تقاضا از زمان  $t_a$  تا  $t_1$  را برآورده سازد، از این رو، آن را سفارش بحرانی محدود می‌نامیم.



شکل ۳. نمودار موجودی- زمان (سیاست دوم)

در این سیاست، مقدار  $Q_i$  به عنوان سفارش بحرانی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_i = Q_w - L_i D \quad (4)$$

در این سیاست، هزینه در بازه زمانی  $t_0$  تا  $t_1$  به صورت زیر قابل محاسبه است:

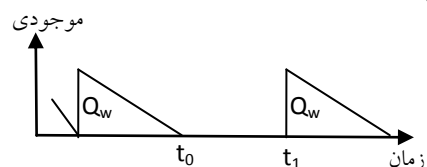
$$K_{2i} = L_i DC + A + R_i + Q_i V_i + \frac{Q_i^2}{2D} h, \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

رابطه (۵) شامل هزینه توقف خط تا زمان دریافت سفارش بحرانی، هزینه سفارش‌دهی، هزینه ثابت حمل، هزینه متغیر حمل و هزینه نگهداری سفارش بحرانی است. با جایگزین کردن رابطه (۴) در (۵) داریم:

$$K_{2i} = L_i DC + A + R_i + (Q_w - L_i D) V_i + \frac{(Q_w - L_i D)^2}{2D} h, \quad i=1,2,\dots,n \quad (6)$$

جهت تضمین اینکه سفارش بحرانی در زمان کمبود دریافت شود لازم است محدودیت زیر را اعمال نماییم:

بهینه سفارش بحرانی و نوع وسیله حمل را تعیین می‌نماییم.



شکل ۲. نمودار موجودی- زمان (شرایط بحرانی)

### ۳- هزینه سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی

#### ۳-۱- سیاست اول: عدم صدور سفارش بحرانی

در این سیاست برای مقابله با شرایط بحرانی اقدامی صورت نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، در شرایط بحرانی سفارشی داده نمی‌شود و مطابق شکل ۲ دریافت محموله بعدی طبق برنامه عادی سفارش‌ها در زمان  $t_1$  اتفاق خواهد افتاد. لذا در بازه زمانی  $t_0$  تا  $t_1$  خط تولید با کمبود مواجه است و متوقف می‌ماند. میزان کمبود در این بازه به اندازه  $Q_w$  است. از آنجا که هزینه هر واحد کمبود کالا  $C$  واحد پولی است، لذا هزینه توقف خط در بازه  $[t_0, t_1]$  عبارت است از:

$$K_1 = Q_w C \quad (3)$$

طول بازه  $[t_0, t_1]$  برابر  $Q_w/D$  است که با  $T_w$  نمایش داده می‌شود.

#### ۳-۲- سیاست دوم: صدور یک سفارش بحرانی محدود

مطابق شکل ۳، در لحظه وقوع شرایط بحرانی ( $t_0$ )، یک سفارش بحرانی صادر می‌شود. اندازه این سفارش  $Q_i$  است و با استفاده از وسیله  $i$  حمل می‌شود. این سفارش در زمان  $t_a$  دریافت می‌گردد. فاصله زمانی بین  $t_0$  تا  $t_a$

در فاصله  $t_1$  تا  $t_b$  است (به دلیل اینکه برنامه عادی سفارش‌ها از زمان  $t_1$  به  $t_b$  انتقال یافته است، هزینه برنامه عادی سفارش‌ها در فاصله  $t_1$  تا  $t_b$  از هزینه‌های این سیاست کم شود).

با مشتق‌گیری از رابطه (۸) مقدار بهینه سفارش محاسبه می‌شود:

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2D(A+R^*)}{h}} + \frac{(V^* - V_i)D}{h} \quad (9)$$

از آنجا که در این سیاست هزینه تغییر برنامه (F) دیده شده است، لذا مقدار سفارش باید به اندازه‌ای باشد تا پس از زمان  $t_1$  به اتمام برسد. از این رو، لازم است محدودیت زیر را برای مقدار سفارش اعمال نماییم:

$$Q_i > Q_w - L_i D, \quad i=1, \dots, n \quad (10)$$

در این سیاست، مشابه سیاست دوم، لازم است زمان تحویل وسیله حمل انتخابی کوتاهتر از طول بازه کمبود باشد ( $L_i < T_w$ ). به عبارت دیگر، وسیله حملی که این شرط را نداشته باشد، از گزینه‌های انتخاب حذف می‌شود.

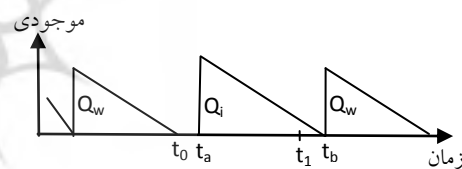
**۳-۴- سیاست چهارم: سیاست ایران خودرو خراسان**  
همان‌طور که در بخش ۱-۱ توضیح داده شد، سیاستی که واحد لجستیک ایران خودرو خراسان برای مقابله با شرایط بحرانی اتخاذ می‌کند، این است که به سفارش‌گذاری با استفاده از سریعترین وسیله حمل اقدام می‌نماید. برای اطمینان از برآورده شدن کالای مورد نیاز، سفارش دیگری همزمان با سفارش اول با استفاده از وسیله حمل معمولی (وسیله حمل معمولی، وسیله‌ای است که در شرایط عادی و برنامه‌ریزی شده از آن

$$L_i < T_w \quad (7)$$

رابطه (۷) دلالت بر این دارد که زمان تحویل وسیله حمل انتخابی کوتاهتر از طول دوره کمبود باشد.

### ۳-۳- سیاست سوم: صدور یک سفارش بحرانی آزاد

در این سیاست، مطابق شکل ۴، یک سفارش بحرانی در زمان  $t_0$  صادر می‌شود. این سفارش در زمان  $t_a$  دریافت می‌گردد و تقاضا تا زمان  $t_b$  را برآورده می‌سازد. در اندازه این سفارش محدودیتی وجود ندارد و  $t_b$  (زمان اتمام سفارش بحرانی) می‌تواند هر زمانی بعد از  $t_1$  باشد. به همین علت، آن را سفارش بحرانی آزاد می‌نامیم. در این سیاست، در برنامه عادی سفارش‌ها تغییر ایجاد می‌شود و زمان دریافت سفارش عادی ( $Q_w$ ) از  $t_1$  به  $t_b$  منتقل می‌شود.



شکل ۴. نمودار موجودی- زمان (سیاست سوم)

هزینه اعمال این سیاست، در فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_b$  طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود. فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_b$  برابر  $L_i + Q_i/D$  است.

$$K_{3i} = L_i DC + A + R_i + Q_i V_i + \frac{Q_i^2}{2D} h + F - (L_i + \frac{Q_i - Q_w}{D}) (\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

رابطه (۸) مجموع هزینه توقف خط تا زمان دریافت سفارش بحرانی، هزینه سفارش‌دهی، هزینه ثابت حمل، هزینه متغیر حمل، هزینه نگهداری سفارش بحرانی، هزینه تغییر برنامه، منهای هزینه برنامه عادی سفارشات



دو سفارش، هزینه ثابت حمل سفارش اول، هزینه ثابت حمل سفارش دوم، هزینه متغیر حمل سفارش اول، هزینه متغیر حمل سفارش دوم، هزینه نگهداری سفارش اول و دوم، هزینه نگهداری سفارش دوم از زمان دریافت آن ( $t_d$ ) تا زمان اتمام سفارش اول ( $t_b$ ) و هزینه نگهداری سفارش عادی ( $Q_w$ ) از زمان دریافت آن ( $t_1$ ) تا زمان اتمام سفارش دوم ( $t_c$ ) (در سیاست فعلی ایران خورد خراسان تغییر در برنامه عادی سفارشات داده نمی‌شود و سفارش عادی در زمان  $t_1$  دریافت می‌شود).

همان‌طور که ذکر شد، اندازه سفارش‌ها و نوع وسیله حمل سفارش دوم به صورت تجربی تعیین می‌گردد. با قرار دادن مقدار این پارامترها ( $Q_1, Q_2$  و نوع وسیله حمل) در رابطه (۱۱) هزینه تحمیل شده به شرکت ایران خودرو خراسان را می‌توان محاسبه کرد.

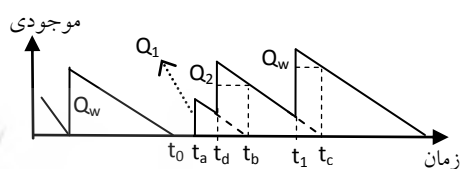
(در رابطه (۱۱)  $L_{min}, R_{min}$  و  $V_{min}$  به ترتیب زمان تحویل، هزینه ثابت و هزینه متغیر سریعترین وسیله حمل است. از آنجا که در بخش ۳-۴-۱ سیاست ایران خودرو خراسان را بهبود می‌دهیم، لذا سیاست ایران خودرو خراسان (سیاست چهارم) دو حالت فعلی و بهبود یافته دارد که هزینه آنها را به ترتیب با علائم  $K_{4-1i}$  و  $K_{4-2i}$  نمایش می‌دهیم).

### ۳-۴-۱- بهبود سیاست ایران خودرو خراسان

در سیاست فعلی ایران خودرو خراسان (شکل ۵)، ملاحظه می‌شود که سفارش دوم ممکن است در زمانی که سفارش اول به اتمام نرسیده، دریافت گردد که این خود هزینه نگهداری به شرکت تحمیل می‌کند. همچنین، در برنامه عادی سفارش‌ها تغییر داده نمی‌شود و سفارش عادی ممکن است در زمانی که سفارش دوم به اتمام

استفاده می‌شود) نیز صادر می‌کند. به عبارت دیگر، در شرایط بحرانی دو سفارش صادر می‌شود. کارشناس واحد لجستیک اندازه سفارش‌ها و نوع وسیله حمل سفارش دوم را بدون رویکرد علمی و به صورت تجربی تعیین می‌کند.

در این قسمت قصد داریم سیاست ایران خودرو خراسان را مدل‌سازی کنیم. چنانچه بخواهیم نمودار موجودی را در این سیاست رسم کنیم، به نموداری مشابه شکل (۵) خواهیم رسید.



شکل ۵. نمودار موجودی - زمان سیاست فعلی ایران خودرو خراسان

مطابق شکل (۵) در زمان  $t_d$  هنوز موجودی سفارش اول ( $Q_1$ ) به اتمام نرسیده که سفارش دوم به میزان  $Q_2$  دریافت می‌شود. فاصله‌ی زمان  $t_0$  تا  $t_a$  برابر با زمان تحویل سریعترین وسیله حمل است و فاصله زمان  $t_0$  تا  $t_d$  برابر با زمان تحویل وسیله حمل انتخاب شده برای سفارش دوم است.

هزینه این سیاست در بازه  $t_0$  تا  $t_c$  به صورت زیر قابل محاسبه است. فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_c$  برابر با  $L_{min} + (Q_1 + Q_2)/D$  است.

$$K_{4-1i} = L_{min}DC + 2A + R_{min} + R_i + Q_1V_{min} + Q_2V_i + \frac{(Q_1^2 + Q_2^2)h}{2D} + Q_2(L_{min} + \frac{Q_1}{D} - L_i)h + Q_w(L_{min} + \frac{Q_1 + Q_2 - Q_w}{D})h, i = 1, \dots, n \quad (11)$$

جملات رابطه (۱۱) به ترتیب عبارتند از: هزینه توقف خط تا دریافت اولین سفارش، هزینه سفارش‌دهی برای

رابطه (۱۲) شامل مجموع هزینه توقف خط تا زمان دریافت اولین سفارش، هزینه سفارش‌دهی برای دو سفارش، هزینه‌های ثابت حمل سفارش اول و دوم، هزینه‌های متغیر حمل سفارش اول و دوم، هزینه نگهداری سفارش اول و دوم، هزینه تغییر برنامه، منهای هزینه برنامه عادی سفارش‌ها در فاصله  $t_1$  تا  $t_c$  است (به دلیل اینکه برنامه عادی سفارش‌ها از زمان  $t_1$  به  $t_c$  انتقال یافته است، لذا هزینه برنامه عادی سفارش‌ها در فاصله  $t_1$  تا  $t_c$  از هزینه‌های این سیاست کم شود).

همان‌طور که اشاره شد، لازم است زمان دریافت سفارش دوم همزمان با اتمام سفارش اول باشد، از این رو، زمان مناسب برای صدور سفارش دوم به اندازه  $L_{\min} + \frac{Q_1}{D} - L_i$  پس از زمان  $t_0$  است.

در این سیاست، زمان تحویل وسیله حمل انتخابی دوم علاوه بر اینکه باید در محدودیت  $L_i \leq T_w$  صدق کند، لازم است محدودیت  $L_{\min} + \frac{Q_1}{D} \geq L_i$  را نیز پوشش دهد، زیرا در غیر این صورت مجدداً در زمان  $t_0$  به علت تأخیر در دریافت سفارش دوم خط تولید با کمبود مواجه خواهد شد.

با توجه به شکل ۶ مقدار  $Q_1$  باید به اندازه‌ای باشد که تقاضا تا زمان دریافت سفارش دوم را پوشش دهد و با آن نیز همپوشانی نداشته باشد؛ لذا:

$$Q_1 = D(L_i - L_{\min}) \quad (13)$$

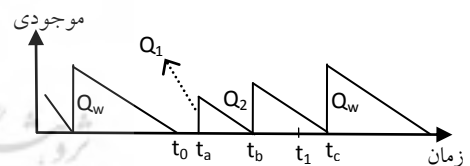
با جای‌گذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۱۲) داریم:

$$K_{4-2i} = L_{\min}DC + 2A + R_{\min} + R_i + D(L_i - L_{\min})V_{\min} + Q_2V_i + D(L_i - L_{\min})^2 \frac{h}{2} + \frac{Q_2^2 h}{2D} + F - (L_i + \frac{Q_2 - Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

نرسیده، دریافت گردد که این امر نیز هزینه نگهداری را افزایش می‌دهد. به همین علت، این سیاست را می‌توان به این گونه بهبود داد که سفارش دوم در زمانی که موجودی سفارش اول به صفر می‌رسد دریافت گردد و سفارش عادی در زمانی که موجودی سفارش دوم به اتمام می‌رسد دریافت گردد. در این صورت، نمودار گردش موجودی به شکل (۶) قابل نمایش است.

همچنین، در سیاست فعلی ایران خودرو خراسان، نوع وسیله حمل سفارش دوم و اندازه سفارشات به صورت تجربی تعیین می‌شود؛ با مدل‌سازی تابع هزینه و کمینه کردن آن می‌توان اندازه بهینه سفارش‌ها و نوع بهینه وسیله حمل سفارش دوم را تعیین نمود.

در این سیاست وسیله حمل سفارش دوم نباید سریعترین وسیله باشد، چرا که در این صورت در واقع یک سفارش با سریعترین وسیله صادر می‌گردد و این سیاست مشابه سیاست سوم خواهد بود.



شکل ۶. نمودار موجودی-زمان سیاست بهبود یافته ایران خودرو خراسان

فاصله زمانی  $t_0$  تا  $t_c$  در این سیاست برابر با  $L_{\min} + (Q_1 + Q_2)/D$  است و هزینه این سیاست در این بازه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{4-2i} = L_{\min}DC + 2A + R_{\min} + R_i + Q_1V_{\min} + Q_2V_i + (Q_1^2 + Q_2^2) \frac{h}{2D} + F - (L_{\min} + \frac{Q_1 + Q_2 - Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

برای انتخاب سیاست بهینه از بین سیاست‌های تعریف شده فوق، باید برای هر سیاست مقدار هزینه مقابله با شرایط بحرانی ( $K_{ij}$ ) را محاسبه و با هم مقایسه کنیم. با توجه به مدل‌سازی تابع  $K_{ij}$  ملاحظه می‌شود که در هر یک از سیاست‌ها طول دوره‌ی زمان این تابع متفاوت است. در سیاست‌های اول و دوم (شکل ۲ و ۳) تابع هزینه بازه زمانی  $[t_0, t_1]$  را پوشش می‌دهد، در سیاست سوم (شکل ۴) تابع هزینه بازه زمانی  $[t_0, t_b]$  را پوشش می‌دهد و در سیاست ایران خودرو (شکل ۵ و ۶) تابع هزینه بازه زمانی  $[t_0, t_c]$  را پوشش می‌دهد. از این رو، مقادیر  $K_{ij}$  مستقیماً با هم قابل مقایسه نیستند. با توجه به اینکه شروع تمام بازه‌ها زمان  $t_0$  است، برای مقایسه  $K_{ij}$ ‌ها ماکزیمم بازه‌های زمان در سیاست‌های مختلف را به عنوان بازه مشترک در نظر می‌گیریم. برای همه سیاست‌ها، هزینه را در این بازه مشترک محاسبه و با هم مقایسه می‌کنیم.

ماکزیمم بازه‌های زمان را با  $T_{max}$  نمایش می‌دهیم. و عبارت است از:

$$T_{max} = \text{Max}\{[t_0, t_1], [t_0, t_b], [t_0, t_c]\} \quad (17)$$

بنابراین، برای مقایسه سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی و انتخاب سیاست بهینه، مقادیر  $K_{ij}$ ‌ها را در بازه زمان  $t_0$  تا  $T_{max}$  محاسبه می‌نماییم. لذا، هزینه هر یک از سیاست‌ها به صورت زیر اصلاح می‌گردد: (نحوه اصلاح هزینه‌ها بر این اساس است که به هزینه هر یک از سیاست‌ها هزینه برنامه عادی سفارش‌ها، از زمان اتمام سفارش بحرانی ( $t_1$ ) در سیاست اول و دوم،  $t_b$  در سیاست سوم،  $t_c$  در سیاست چهارم) تا زمان  $T_{max}$ ، اضافه می‌گردد).

با مشتق گرفتن از رابطه (۱۴) نسبت به  $Q_2$ ، مقدار بهینه آن را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$Q_2^* = \sqrt{\frac{2D(A+R^*)}{h} + \frac{(V^* - V_i)D}{h}} \quad (15)$$

ضمناً، سفارش  $Q_2$  باید به اندازه باشد که زمان اتمام آن ( $t_c$ ) در زمان  $t_1$  یا بعد از  $t_1$  باشد، زیرا در غیر این صورت، در فاصله  $t_c$  تا  $t_1$  خط تولید با کمبود مواجه می‌شود (سفارش عادی را زودتر از زمان  $t_1$  نمی‌توان دریافت کرد) لذا:

$$L_{min} + \frac{Q_1 + Q_2}{D} \geq \frac{Q_w}{D} \Rightarrow L_1 + \frac{Q_2}{D} \geq \frac{Q_w}{D} \Rightarrow Q_2 \geq Q_w - DL_1 \quad (16)$$

در صورتی که رابطه (۱۶) به صورت تساوی برقرار شود، هزینه تغییر برنامه (F) از رابطه (۱۴) حذف می‌شود.

#### ۴- مقایسه سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی و انتخاب سیاست بهینه

معیار مقایسه سیاست‌ها هزینه است؛ هر سیاستی که کمترین هزینه را دارد، سیاست بهینه است. نوع وسیله حمل و اندازه سفارش بحرانی متغیرهای تصمیم هستند. برای تعیین نوع بهینه وسیله حمل و مقدار بهینه سفارش بدین صورت عمل می‌شود که در هر سیاست به ازای هر وسیله حمل، اندازه بهینه سفارش (با توجه به مطالب بخش ۳) تعیین می‌گردد. مقدار هزینه سیاست به ازای وسیله حمل در نظر گرفته شده و مقدار بهینه سفارش با توجه به توضیحات این بخش محاسبه می‌شود. به دلیل اینکه در شرایط واقعی تعداد وسایل حمل و نقل محدود و قابل شمارش است محاسبات به سادگی قابل انجام است.

هزینه سیاست اول:

شرایط بحرانی برای این قطعات رخ داده است. در این قسمت ابتدا سیاست فعلی ایران خودرو خراسان بیان می شود سپس با رویکردی که در این مقاله تشریح شد سیاست بهینه برای این دو قطعه تعیین می گردد.

$$K_i = Q_w C + (T_{max} - \frac{Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*) \quad (18)$$

هزینه سیاست دوم:

$$K_{2i} = L_i DC + A + R_i + (Q_w - L_i D)V_i + \frac{(Q_w - L_i D)^2}{2D} h + (T_{max} - \frac{Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i=1, \dots, n \quad (19)$$

هزینه سیاست سوم:

$$K_{3i} = L_i DC + A + R_i + Q_i V_i + \frac{Q_i^2}{2D} h + F - (L_i + \frac{Q_i - Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*) + (T_{max} - L_i - \frac{Q_i}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i=1, \dots, n \quad (20)$$

هزینه سیاست چهارم (ایران خودرو خراسان):

• هزینه سیاست فعلی ایران خودرو خراسان:

### اطلاعات قطعات

تقاضای هفتگی برای قطعه پلوس ۱۰۰۰ واحد است، هر واحد آن حدود ۲۰۰۰۰۰۰ ریال قیمت دارد و هزینه نگهداری ۱۰۰۰۰۰۰ ریال به ازای هر واحد در هفته است. تقاضای هفتگی برای قطعه لوله ترمز ۱۰۰۰ واحد است، هر واحد آن حدود ۲۰۰۰۰۰ ریال قیمت دارد و هزینه نگهداری آن ۲۰۰۰۰ ریال به ازای هر واحد در هفته است.

برای حمل و نقل این قطعات می توان از سه وسیله حمل استفاده کرد. اطلاعات مربوط به وسایل حمل (زمان تحویل، هزینه های ثابت و متغیر حمل) طبق جدول ۱ است.

$$K_{4-i} = L_{min} DC + 2A + R_{min} + R_i + Q_i V_{min} + Q_2 V_i + \frac{Q_i^2 + Q_2^2}{2D} h + Q_2 (L_{min} + \frac{Q_i}{D} - L_i) h + Q_w (L_{min} + \frac{Q_i + Q_2 - Q_w}{D}) h + (T_{max} - L_{min} - \frac{Q_i + Q_2}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i=1, \dots, n \quad (21)$$

جدول ۱. اطلاعات وسایل حمل و نقل

هزینه متغیر حمل (V <sub>i</sub> ) (تومان به ازای هر واحد کالا)	هزینه ثابت حمل (R <sub>i</sub> ) (تومان)	زمان تحویل (L <sub>i</sub> ) (ساعت)	نوع وسیله حمل (i)
۸۰۰	۲۰۰۰۰	۹	۱
۱۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۴	۲
۲۰	۵۰۰۰۰۰	۲۸	۳

هزینه سیاست بهبود یافته ایران خودرو خراسان:

$$K_{4-2i} = L_{min} DC + 2A + R_{min} + R_i + D(L_i - L_{min})V_{min} + Q_2 V_i + D(L_i - L_{min})^2 \frac{h}{2} + \frac{Q_2^2 h}{2D} + F - (L_i + \frac{Q_2 - Q_w}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*) + (T_{max} - L_{min} - \frac{Q_1 + Q_2}{D})(\sqrt{2Dh(A+R^*)} + DV^*), \quad i=1, \dots, n \quad (22)$$

### ۵- نتایج عددی

سایر اطلاعات هزینه ای، از جمله هزینه سفارش دهی، هزینه توقف خط و هزینه تغییر برنامه سفارش ها برای دو قطعه مشابه و طبق جدول ۲ است.

در این قسمت کاربرد نتایج این تحقیق را به صورت عددی بر روی دو نمونه از قطعات ایران خودرو خراسان نشان می دهیم. دو قطعه انتخاب شده پلوس و لوله ترمز هستند که سابقه تاریخی تامین این قطعات نشان می دهد

جدول ۲. اطلاعات هزینه‌ای

هزینه سفارش - دهی (A) (تومان)	هزینه توقف خط (C) (تومان به ازای هر واحد کالا)	هزینه تغییر برنامه (F) (تومان)
۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰

واحد با وسیله‌ی حمل ۱ و همزمان با سفارش اول سفارش دومی به تعداد ۱۰۰۰ واحد با وسیله‌ی حمل ۳ صادر می‌شود.

تعیین سیاست بهینه

جداول ۳ و ۴ به ترتیب نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست‌های مختلف برای قطعات پلوس و لوله ترمز را دربر دارند. در هر سیاست و هر وسیله حمل؛ مقدار سفارش بر اساس مطالب بخش ۳ بدست آمده و هزینه مربوط به آن با توجه به توضیحات و روابط بخش ۴ محاسبه شده است.

سیاست فعلی ایران خودرو خراسان

در ایران خودرو خراسان، هنگام بروز شرایط بحرانی برای قطعه پلوس، سیاست فعلی به این صورت است که یک سفارش به تعداد ۹۰ واحد با وسیله حمل ۱ و همزمان با سفارش اول سفارش دومی به تعداد ۵۰۰ واحد با وسیله‌ی حمل ۳ صادر می‌شود.

سیاست فعلی برای مقابله با شرایط بحرانی قطعه لوله ترمز به این صورت است که یک سفارش به تعداد ۱۵۰

جدول ۳. مقدار سفارش، نوع وسیله حمل و هزینه در سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی برای قطعه پلوس

وسیله حمل ۳		وسیله حمل ۲		وسیله حمل ۱		سیاست / وسیله حمل
مقدار سفارش (واحد)	هزینه (تومان)	مقدار سفارش (واحد)	هزینه (تومان)	مقدار سفارش (واحد)	هزینه (تومان)	
۰	۵۲۲۸۱۵۲۲	۰	۵۲۲۸۱۵۲۲	۰	۵۲۲۸۱۵۲۲	اول: عدم تغییر در برنامه سفارش‌ها
۷	۵۰۸۷۰۳۴۳	۹۰	۲۵۵۱۹۳۷۰	۱۲۰	۱۶۶۲۸۶۹۵	دوم: صدور یک سفارش بحرانی محدود
۱۸۱	۵۰۴۹۷۸۰۲	۱۷۳	۲۵۴۳۱۹۷۷	۱۲۰	۱۶۶۲۸۶۹۵	سوم: صدور یک سفارش بحرانی آزاد
(همزمان ۹۰ واحد با وسیله حمل ۱)	۱۸۲۲۱۴۱۴	-	-	-	-	چهارم-۱: سیاست فعلی ایران خودرو خراسان
(همزمان ۱۱۳ واحد با وسیله حمل ۱)	۱۶۷۹۳۶۶۰	(همزمان ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱)	۱۶۶۰۱۶۴۴	-	-	چهارم-۲: سیاست بهبود یافته ایران خودرو خراسان

۱۶۶۰۱۶۴۴ تومان است. اتخاذ این سیاست در مقایسه با سیاست فعلی ایران خودرو خراسان (با هزینه ۱۸۲۲۱۴۱۴) منجر به کاهش هزینه به اندازه ۱۶۱۹۷۷۰ تومان می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۳، برای قطعه پلوس اتخاذ سیاست چهارم-۲ با وسیله حمل ۲ کمترین هزینه را دارد. در این سیاست ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱ سفارش داده می‌شود و همزمان با آن ۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ سفارش داده می‌شود. هزینه این سیاست

جدول ۴. مقدار سفارش، نوع وسیله حمل و هزینه در سیاست‌های مقابله با شرایط بحرانی برای قطعه لوله ترمز

وسیله حمل ۳		وسیله حمل ۲		وسیله حمل ۱		سیاست	وسیله حمل
هزینه (تومان)	مقدار سفارش (واحد)	هزینه (تومان)	مقدار سفارش (واحد)	هزینه (تومان)	مقدار سفارش (واحد)		
۱۱۶۳۷۰۲۵۰	۰	۱۱۶۳۷۰۲۵۰	۰	۱۱۶۳۷۰۲۵۰	۰	اول: عدم تغییر در برنامه سفارشات	
۵۰۷۸۳۸۴۱	۲۲۱	۲۵۴۵۳۵۴۱	۳۰۴	۱۶۷۰۰۵۳۴	۳۳۴	دوم: صدور یک سفارش بحرانی محدود	
۵۰۶۶۰۳۸۰	۴۲۷	۲۵۴۷۳۷۱۴	۳۸۷	۱۶۷۰۰۵۳۴	۳۳۴	سوم: صدور یک سفارش بحرانی آزاد	
۱۸۰۲۶۸۶۱	۱۰۰۰ (همزمان ۱۵۰ واحد د با وسیله حمل ۱)	-	-	-	-	چهارم-۱: سیاست فعلی ایران خودرو خراسان	
۱۶۹۰۵۰۷۵	۴۲۷ (همزمان ۱۱۳ واحد با وسیله حمل ۱)	۱۶۶۳۹۸۳۸	۳۸۷ (همزمان ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱)	-	-	چهارم-۲: سیاست بهبود یافته ایران خودرو خراسان	

سیاست فعلی ایران خودرو خراسان را بهبود بخشید. بهبود سیاست مقابله با شرایط بحرانی برای این دو قطعه جمعا ۳۰۰۶۷۹۳۰ ریال صرفه‌جویی هزینه ایجاد می‌کند؛ به‌طور متوسط ۱۵۰۰۰۰۰۰ ریال برای هر قطعه. ایران خودرو خراسان ۱۸۰۰ قطعه تامین می‌کند، با فرض اینکه تامین ۱۰٪ این قطعات، یک‌بار در سال دچار شرایط بحرانی شود، بهینه‌سازی سیاست تامین موجودی در شرایط بحرانی، به‌طور متوسط منجر به کاهش هزینه به اندازه ۲۷۰۰۰۰۰۰ ریال در سال می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۴، برای قطعه لوله ترمز، سیاست چهارم-۲ با وسیله حمل ۲ کمترین هزینه را دارد. در این سیاست ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱ سفارش داده می‌شود و همزمان با آن ۳۸۷ واحد با وسیله حمل ۲ سفارش داده می‌شود. هزینه این سیاست ۱۶۶۳۹۸۳۸۰ ریال است. اتخاذ این سیاست در مقایسه با سیاست فعلی ایران خودرو خراسان به کاهش هزینه به اندازه ۱۳۸۷۰۲۳۰ ریال منجر می‌شود.

در این مثال عددی، دو قطعه پلوس و لوله ترمز به عنوان نمونه آورده شده تا نشان داده شود می‌توان

### تحلیل حساسیت

هزینه‌ای از جمله هزینه توقف خط و هزینه تغییر برنامه، بر اساس اطلاعات قطعه پلوس، تحلیل حساسیت انجام می‌دهیم.

در ادامه، به منظور نشان دادن اثر پارامترهای هزینه‌ای در انتخاب سیاست بهینه، بر روی تعدادی از پارامترهای

جدول ۵. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر C

میزان سفارش	سیاست بهینه	هزینه(ریال)	C(ریال)
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ و ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱	چهارم-۲	۱۶۶۰۱۶۴۴۰	۳۰۰۰۰۰۰
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ و ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱	چهارم-۲	۵۸۸۷۳۵۸۰	۱۰۰۰۰۰۰
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ و ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱	چهارم-۲	۱۶۰۱۶۴۴۰	۲۰۰۰۰۰
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲	سوم	۷۰۶۹۷۷۰	۳۳۰۰۰
عدم صدور سفارش	اول	۵۳۵۶۳۹۰	۱۲۴۶۰

#### ۱- تحلیل حساسیت هزینه توقف خط (C)

به معنی عدم صدور سفارش است، به عنوان سیاست بهینه انتخاب می‌گردد. با توجه به اینکه پارامتر C میزان تحمیل هزینه به دلیل توقف خط را تعیین می‌کند با نزدیک شدن این مقدار به صفر هزینه کمتری بر سازمان تحمیل می‌گردد و لذا عدم صدور سفارش منطقی است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد با کاهش مقدار پارامتر C میزان هزینه کاهش می‌یابد و در مقدار ۳۳۰۰۰ ریال سیاست بهینه از سیاست چهارم-۲ به سیاست سوم؛ یعنی صدور یک سفارش به میزان ۱۷۳ واحد تغییر می‌کند و در صورتی که این کاهش ادامه یابد سیاست بهینه در مقدار C=۱۲۴۶۰ ریال مجدداً تغییر کرده، سیاست اول که

جدول ۶. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر F

میزان سفارش	سیاست بهینه	هزینه(ریال)	F(ریال)
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ و ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱	چهارم-۲	۱۶۶۰۱۶۴۴۰	۱۰۰۰۰۰۰
۱۷۳ واحد با وسیله حمل ۲ و ۳۰ واحد با وسیله حمل ۱	چهارم-۲	۱۶۶۲۱۶۴۴۰	۱۲۰۰۰۰۰
۱۲۰ واحد با وسیله حمل ۱	دوم	۱۶۶۲۸۶۹۵۰	۱۲۷۰۵۱۰
۱۲۰ واحد با وسیله حمل ۱	دوم	۱۶۶۲۸۶۹۵۰	۱۵۰۰۰۰۰

#### ۲- تحلیل حساسیت هزینه تغییر برنامه (F)

فقط هزینه سیاست افزایش پیدا کرده، میزان سفارش تغییر نمی‌کند. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد در مقدار ۱۲۷۰۵۱ سیاست بهینه از سیاست چهارم-۲ به سیاست دوم تغییر می‌کند. در سیاست دوم تغییر در برنامه عادی

پارامتر F مقدار هزینه‌ای است که به ازای تغییر در برنامه عادی سفارش‌ها به مدل اضافه می‌گردد. با افزایش در مقدار این پارامتر تا زمانی که سیاست عوض نشود،

## منابع:

- Ben-daya, M., and Raouf, A. (1994). "Inventory models involving Lead time as a decision variable". *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 579° 582.
- Candance, A.Y. (1987). "Planned lead time for serial production system". *IIE Transaction*, 19, 300° 307.
- Chandraa, C., and Grabisb, J. (2005). "Inventory management with variable lead-time dependent procurement cost". *The International Journal of Management Science*, 36, 877° 887.
- Chen, K., and Chang, C.T. (2007). "A seasonal demand inventory model with variable lead time and resource on constraints". *Applied Mathematical Modelling*, 31, 2433° 2445.
- Chen, J., Zhao, X., and Zhou, Y. (2012). "A periodic-review inventory system with capacitated backup supplier for mitigating supply disruptions". *European Journal of Operational Research*, 219, 312° 323.
- Chen, Q., Li, X., and Ouyang, Y. (2011). "Joint inventory-location problem under the risk of probabilistic facility disruptions". *Transportation Research Part B*, 45, 991° 1003.
- Dada, M., Petruzzi, N., and Schwarz, L.B. (2007). "nnnnnnnn procurement problem when suppliers are unreliable". *Manufacturing and Service Operations Management*, 9, 9° 32.
- Fergany, H.A., Ezzat, M.M., and Gawdt, O.A. (2011). "Continuous review inventory model with crashing cost under service level constraint and probabilistic fuzzy numbers". *AMO-Advanced Modeling and Optimization*, 13, 13-23.
- Giri, B.C. (2011). "Managing inventory with two suppliers under yield uncertainty and risk aversion". *International Journal of Production Economics*, 133, 80-85.
- Güllü, R., Öno, E., and Erkip, N. (1999). "Analysis of an inventory system under supply uncertainty". *International Journal of Production Economics*, 59, 377-385.
- Hadley, G., and Whitin, T.M. (1963). *Analysis of Inventory System*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Harrige, M., and Ben-daya, M. (1999). "Some stochastic inventory Models with deterministic

سفارش‌ها وجود ندارد، لذا مقدار  $F$  در هزینه این سیاست وارد نمی‌شود و به همین دلیل است که با افزایش  $F$  سیاست بهینه به سمت سیاست دوم میل می‌کند. همچنین، مقدار آن تاثیری بر اندازه سفارش و هزینه سیاست دوم ندارد و با افزایش آن هزینه و مقدار سفارش ثابت می‌ماند.

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله با الگوبرداری از سیستم تأمین موجودی در شرایط بحرانی در ایران خودرو خراسان مدلی برای تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی با مد نظر قرار دادن زمان تحویل متغیر ارائه گردید. برای مقابله با شرایط بحرانی، علاوه بر مدل‌سازی سیاست فعلی ایران خودرو خراسان، سیاست‌های دیگری نیز ارائه و مدل‌سازی شد. نتایج عددی نشان می‌دهد اتخاذ سیاست بهینه نسبت به سیاست فعلی ایران خودرو خراسان منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. همچنین، با انجام تحلیل حساسیت بر روی برخی از پارامترها نتیجه می‌شود سیاست خاصی به عنوان سیاست بهینه در تمام موارد نمی‌توان پیشنهاد کرد، بلکه با توجه به مقادیر پارامترهای مدل، هر کدام از سیاست‌ها ممکن است به عنوان سیاست بهینه انتخاب شوند.

در این مقاله، هزینه تغییر برنامه سفارش‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شد که می‌توان در توسعه این مدل به صورت متغیر وابسته به زمان در نظر گرفت. همچنین، نرخ تقاضای کالا به صورت ثابت فرض شده است که می‌توان با در نظر گرفتن نرخ‌های احتمالی مدل را در پژوهش‌های آتی توسعه داد.



- the Operational Research Society*, 53, 1048° 1053.
- Roychowdhury, S. (2009). "An optimal ordering policy for a stochastic inventory model for deteriorating items with time-dependent selling price". *AMO-Advanced Modeling and Optimization*, 11, 289-304.
- Yang, M.F., Huang, T.S., and Lin, Y. (2009). "Variable lead time fuzzy inventory system under backorder rate with allowed shortage". *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 6(11), 5015-5034.
- variable lead time". *European Journal of Operational Research*, 113, 42° 51.
- Lan, S.P., Chu, P., Chung, K.J., Wan, W.J., and Lo, R. (1999). "A simple method to locate the optimal solution of the inventory model with variable lead time". *Computers and Operations Research*, 26, 599° 605.
- Li, X., and Chen, Y. (2010). "Impacts of supply disruptions and customer differentiation on a partial-backordering inventory system". *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 547° 557.
- Li, Z., Xu, S.H., and Hayya, J. (2004). "A eriodic-review inventory system with supply interruptions". *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 18, 33 53.
- Liao, C.J., and Shyu, C.H. (1991). "Analytical determination of lead time with normal demand". *International Journal of Operations & Production Management*, 11(9), 72° 78.
- Lin, Y.J. (2008). "Optimal review period and backorder rate in a periodic review inventory model with controllable Lead Time". *Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences*, 24(2), 123-140.
- Lo, M.C. (2009). "Economic ordering quantity model with lead time reduction and backorder price discount for stochastic demand". *American Journal of Applied Sciences*, 6, 387-392.
- Mohebbi, E. (2003). "Supply Interruptions in a lost-sales inventory system with random lead time". *Computers & Operations Research*, 30, 411° 426.
- Moon, I., and Choi, S. (1998). "A note on lead time and distributional assumptions in continuous review inventory models". *Computers and Operations Research*, 25, 1007° 101.
- Ouyang, L.Y., Yeh, N.C., and Wu, K.S. (1996). "Mixture inventory model with back orders and lost sales for variable lead time". *Journal of the Operational Research Society*, 47, 833° 838.
- Ouyang, L.Y., and Wu, K.S. (1997). "Mixture inventory model Involving variable lead time with a service level constraint". *Computers and Operations Research*, 24, 875° 882.
- Pan, J.C.H., Hsiao, Y.C., and Lee, C.J. (2002). "nnnooy mdd hhhxx ddd bbbbbb time crash costs considerations". *Journal of*



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی