مدلی برای کنترل موجودی و تولید در شرایط بحران

محمد اکبری*

استادیار گروه مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

دریافت: ۹٤/۳/۱۸ پذیرش: ۹٤/۱۰/۲۲

چکیده

عوامل بیرونی مانند تحریم و همکاری نکردن تأمین‌کنندگان خارجی و عوامل داخلی مانند نبودن مدیریت مناسب جریان نقدی و یا سیاست‌های نامناسب هیأت مدیره می‌تواند به کمبود موجودی منتهی شود. کمبود موجودی یکی از عوامل مهم در ایجاد بحران فرایندهای تولیدی است. این مقاله درصدد است تا یک سیستم کنترل موجودی و تولید را برای شرایط بحران معرفی کند. مدل ارائه شده این مقاله شرایطی را فراهم می‌کند تا با تصمیم‌گیری مناسب در خصوص به تعویق انداختن سفارش‌های مشتریان، هزینه‌های سازمان را در شرایط بحران کمینه نماید. این مدل پیشنهادی برای تولید و کنترل موجودی در شرایط عدم اطمینان مدلسازی و فرض شده است که تقاضای مشتریان به‌خوبی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در این پژوهش، مدل ریاضی ارائه شده از نوع عدد صحیح، غیر خطی و NP-hard است. برای حل این مدل پیچیده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج ارزیابی عددی مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که عملگرهای تقاطع و جهش چند نقطه‌ای توانایی مناسبی در جستجوی فضای موجه و دوری از فضای غیر موجه دارد. همچنین همگرایی در مجموعه جواب‌های الگوریتم نیز نشان می‌دهد که الگوریتم استفاده شده توانایی لازم در پیدا کردن جواب بهینه را در مدت زمان مناسب دارد. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که مدل ارائه شده توانایی مدلسازی و حل مسأله کنترل تولید و موجودی در شرایط بحران ناشی از کمبود موجودی و محدودیت‌های مرتبط را دارد.

واژه‌های کلیدی: کنترل موجودی، شرایط بحران، محدودیت ظرفیت انبار، محدودیت سطح خدمات، الگوریتم ژنتیک.

---

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: E-mail: md.akbary@gmail.com

۱– مقدمه

پدید آمدن شرایط بحران، یکی از عوامل تأثیرگذار در چگونگی مدیریت سیستم‌های تولید و موجودی است. یکی از شرایطی که به آن بحران اطلاق می‌شود، شرایطی است که با وجود قرارداد با مشتریان، به‌دلیل شرایطی که کم و بیش از کنترل خارج شده است، کمبود موجودی وجود دارد. هر چند که کمبود موجودی و تولید به‌عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار در بعضی از منابع علمی مورد توجه محققان قرار گرفته است ولی این کمبود موجودی به صورت یک محدودیت در تأمین تقاضای مشتریان و یا در نظر گرفتن هزینه‌های مرتبط با کمبود مورد بررسی قرار گرفته شده است. از آن جایی که بحران، وضعیتی پیش‌بینی نشده و تأثیرگذار بر سیستم تولید و موجودی است، بنابراین بهینه‌سازی این سیستم نیازمند بررسی دقیق‌تر و مدلسازی جامع‌تر است. از این رو مطالعه و مدلسازی مدل موجودی و تولید به منظور مدیریت مؤثر موجودی و تأمین نیاز تقاضای مشتریان با توجه به هزینه‌های تولید و موجودی سازمان در دوره‌های مختلف امری مهم به نظر می‌رسد.

در این مقاله پژوهش‌های مرتبط به منظور شناخت چگونگی مدلسازی شرایط کمبود موجودی و بحران مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ادبیات موضوع نشان می‌دهد که سه روش برای بیان هزینه‌های کمبود در مدل‌های کنترل موجودی ارائه شده است :

۱– به تعویق انداختن سفارش و جبران آن در دوره تولید آتی؛

۲– فروش از دست رفته؛

۳- به تعویق انداختن قسمتی از سفارش‌ها (که درواقع ترکیبی از دو روش قبلی است).

در روش اول هرچند که تقاضای مشتری از دست نمی‌رود ولی هزینه‌هایی مانند هزینه‌های تأخیر و هزینه‌های ناشی از دیر کسب شدن درآمد به سیستم تحمیل می‌شود. در روش دوم هزینه‌هایی مانند هزینه فروش از دست رفته و هزینه از دست دادن سفارش‌های آتی (به دلیل دست رفتن اعتبار شرکت) به سیستم تحمیل می‌شود [۱، ص ٨٦٦]. گزارش‌های منتشر شده در منابع معتبر علمی نشان می‌دهد که تعداد کمی از محققان به مطالعه مدل‌های موجودی در شرایط بحران ناشی از کمبود موجودی با فرض وجود محدودیت‌های مختلف پرداخته‌اند. این موضوع مهم در حالی است که در مقالاتی که به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده را به عنوان راه‌حل وجود بحران مدلسازی نموده‌اند، درصد به تعویق انداختن را پارامتری ثابت و از پیش

تعیین شده در نظر گرفته‌اند [۲، ص۲۱۵۰]. از آن جایی که میزان تأخیر، تأثیر مستقیمی بر هزینه‌ها و اعتبار سازمان به خصوص در شرایط بحران دارد، لذا لازم است که در مدل‌های پیشنهادی تعیین شده، میزان تأخیر در انجام سفارش با ملاحظه کمینه‌سازی هزینه‌ها مورد توجه قرار گیرد. این پژوهش درصدد است که یک سیستم موجودی را در شرایط بحران موجودی، با توجه به محدودیت‌های واقعی و ملاحظه شرایط به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده، مدلسازی و راه‌حل بهینه‌ای را با توجه به هزینه‌های تأخیر ارائه دهد. در بخش بعدی این مقاله به بررسی پیشینه پژوهش می‌پردازد. روش‌شناسی پژوهش در بخش ۳ و مدل ریاضی پیشنهادی در بخش ٤ ارائه می‌شود. بخش ٥ مقاله به روش حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک اختصاص دارد. بخش ٦ و ۷ نیز به‌ترتیب به ارائه یک مثال عددی و نتیجه‌گیری تخصیص داده شده است.

۲- پیشینه پژوهش

تأمین نیاز مشتریان در شرایطی که تأمین‌کننده با کمبود موجودی روبه‌رو است، همواره مورد توجه محققان بوده است. کمبود موجودی از ابعاد گوناگون همچون مدلسازی هزینه‌های فروش از دست رفته، هزینه‌های به تأخیر انداختن سفارش مشتریان و یا تأمین قسمتی از سفارش مشتریان مدلسازی شده است. به منظور تأمین نیاز مشتریان زمان کمبود موجودی مونتگومری و همکاران[۱] برای محصولات فاسدنشدنی سه مدل (که ترکیبی از فروش از دست رفته و به تعویق انداختن کل سفارش است) ارائه کردند [۳، ص ۲۵۷]. چو و همکاران[۲] بیان می‌کنند که بسیاری از محققان حالت ترکیبی برای سفارش‌های مازاد بر عرضه مانند مسئله ارائه شده به‌وسیله مونتگومری و همکاران را مدلسازی کرده‌اند [٤، ص۹۳۷]. در این مدلسازی درصدی از تقاضای مازاد سیستم کنترل موجودی به تعویق انداخته شده و قسمت دیگر آن از دست می‌رود. در این دسته از مدل‌های پیشنهاد شده، مقدار تقاضای به تعویق انداخته شده به عنوان پارمتری از قبل تعیین شده در نظر گرفته شده و به عنوان یک متغیر به آن پرداخته نشده است [۳، ص ۲۵۹]. مدلسازی مونتگومری و همکاران در برخورد با کمبود موجودی به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های موجودی بوده و سعی در مدیریت بهینه تقاضای مشتریان ندارد. چو و همکاران [٤، ص ۹٤٥] در مقاله خود مدل جدیدی از به تعویق انداختن نسبی سفارش‌های مازاد بر عرضه ارائه می‌کنند که در آن از سیاست حدود کنترل دو بخشی برای سفارش‌های معوقه استفاده شده است. این حدود

به‌عنوان متغیر تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده و نشان‌دهنده درصدی است که تقاضاهای مازاد بر عرضه باید تأمین شوند. در مقاله چو و همکاران متغیر حدود برای میزان سفارش‌های معوقه از نوع گسسته بوده و موجب سخت شدن حل مدل شده و در حالت پیوسته جواب‌های به‌دست آمده پاسخگو نمی‌باشد. تعیین حدود کنترل در مقاله چو و همکاران روشی برای مدیریت بحران کمبود موجودی و تأمین قسمتی از تقاضای مشتریان است. اگرچه در این مقاله برای تعیین حدود کنترل، روش بهینه‌ای ارائه نشده است. وانگ[3] در مقاله خود شرایطی را در کنترل موجودی و تولید مورد مطالعه قرار داده است که در آن نرخ به تعویق انداختن سفارش‌ها وابسته به زمان است. او در این مطالعه با استفاده از مثال‌های عددی تأثیر تغییر در پارامتر این نرخ را بر هزینه‌ها مورد بررسی قرار داده است [٥، ص ٢٠٤٤]. بعضی از محققان نیز نرخ به تعویق انداختن سفارش‌ها را تابعی از زمان مد نظر قرار داده‌اند [٦، ص ٢٤٧؛ ٧، ص ١٧٥]. در این مقالات درصد به تعویق انداختن سفارش‌ها متغیر تصمیم نبوده و تابعی از زمان در نظر گرفته شده است. همچنین سطح خدمت به مشتریان و هزینه‌های فروش از دست رفته نیز مدلسازی نشده است. در این مقالات فرض شده است که در شرایط بحران رفتار مشتریان در خصوص خرید کالا از تابع خاصی پیروی می‌کند. بنابراین برای بهینه‌سازی سود سعی شده است که این رفتار در برنامه‌ریزی تولید و موجودی مدلسازی شود. در این مقالات بی‌صبری مشتری در تأمین تقاضا در دوره‌های بعدی به عنوان عامل اصلی تهدید کننده سود سازمان مد نظر قرار گرفته شده و به تعویق انداختن سفارش‌ها مشتریان ابزار کنترل بحران نیست. تنگ و همکاران[4] [٨، ص ٣٨٧] مدل‌های پاپاکریستوس و اسکوری[5] را با افزودن و مدلسازی هزینه‌های فروش از دست رفته و خرید تکمیل کردند. تنگ و همکاران با توسعه این مدل‌ها، مدل‌های جامع‌تر کنترل تولید و موجودی در حالت ترکیبی فروش از دست رفته و پس‌افت را ارائه کردند. با این حال این مدل‌ها هنوز درصد به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده مشتریان را پارامتر از قبل مشخص و نه به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته‌اند. در شرایط بحران مدیریت تأمین تقاضای مشتریان با توجه به کمبود موجودی خود یک متغیر تصمیم‌گیری است. مدل ترکیبی کنترل تولید و موجودی با شرایط مشابه ولی در حوزه کالاهای فاسدشدنی نیز به‌وسیله اسکوری و پاپاکریستوز[6] [٩، ص٦٠٣] مورد مطالعه و مدلسازی قرار گرفته است. در پژوهش اسکوری و پاپاکریستوز نیز نرخ به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده به صورت نمایی منفی و تابعی از مدت زمان انتظار مدلسازی

شد. در مطالعه ژو[۷] [۱۰، ص ۲۱۱۵] مدل غیر احتمالی جایگزینی محصول با انبارهای چندگانه مورد مطالعه قرار گرفتند. در این مدلسازی قسمتی از سفارش‌های مشتریان به صورت فروش از دست رفته و مقدار فروش از دست رفته نیز تابعی از مقدار سفارش‌ها به تعویق انداخته فرض شده است. این مدل با در نظر گرفتن چندین انبار در حالت ترکیبی فروش از دست رفته و پس‌افت، سعی در افزایش سطح خدمت مشتریان داشته است. لازم به ذکر است که این مدل نیز شرایط احتمالی و متغیر تصمیم‌گیری مستقل برای به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده را در نظر نگرفته و برای کاربرد در چنین حالتی مناسب نیست. استفاده از توابع بی‌صبری[۸] برای تعیین درصد فروش از دست رفته در حالت ترکیبی مدل‌های کنترل موجودی و تولید، یکی دیگر از توسعه‌های این حوزه است [۱۱، ص ۳٤۹؛ ۱۲، ص ۷٦]. این مطالعات با استفاده از توابع بی‌صبری سعی کرده‌اند درصد مشتریانی را که علی‌رغم نبود محصول در سیستم منتظر می‌مانند تا در دوره بعدی خدمات دریافت نمایند، مشخص کنند. این مقالات با استفاده توابع بی‌صبری، میزان تولیدات بهینه و سفارش موجودی را تعیین می‌نمایند. سان جوز و همکاران[۹] در این دو مقاله به مدلسازی کنترل موجودی در شرایط تک‌محصولی و بدون محدودیت انبار پرداختند. این دو محقق در مقاله خود فرض کردند درصدی از مشتریان که مشتاق به انتظار کشیدن نیستند، تابعی از مدت زمان انتظار و طول سیکل کمبود هستند. این نویسندگان بیان کردند که در ٥ سال اخیر بعضی از محققان در مدلسازی به تعویق انداختن نسبی سفارش‌های مازاد بر عرضه، فرض کرده‌اند که مشتریان بی‌صبر هستند. از این رو زمانی که کمبود عرضه رخ می‌دهد، فقط نسبتی از تقاضا (که در زمان مشخصی اتفاق می‌افتد) به تعویق انداخته می‌شود. توابع بی‌صبری در این مطالعات نشان‌دهنده چگونگی رفتار مصرف‌کنندگان در کمبود موجودی بوده و منجر به کاهش مشتریان در این شرایط می‌شود؛ به عبارتی دیگر این مطالعات به تصمیم‌گیری بهینه در شرایط بحران و افزایش تعداد مشتریان ناشی از کمبود موجودی کمک نمی‌کنند. در مقالات [۱۳، ص٤٧٠؛ ۱٤، ص ٤۱۷] برای ارائه مدل ترکیبی کنترل موجودی فرض شده است که درصد به تعویق انداختن تقاضای تأمین نشده تابعی از کل مشتریان منتظر است. همچنین در این مقالات مدل ترکیبی کنترل موجودی با مفروضات نرخ تقاضای لگاریتمی مقعر و مثبت توسعه داده شده است. با توجه به استفاده از توابع بی‌صبری برای مشتریان، این پژوهش‌ها نیز درصد به تعویق انداختن را متغیر تصمیم در نظر نگرفته‌اند. میزان موجودی در دوره‌های تولید محدود و متفاوت بوده و با

توجه به شرایط اقتصادی و بحران موجودی، موجودی سازمان و جامعه می‌تواند کمتر از میزان انتظار و برنامه‌ریزی شده باشد. از این رو مدل‌هایی که برای به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده مشتریان از پارامتر مشخص و یا توابع بی‌صبری استفاده می‌کنند، در شرایط بحران موجودی مناسب نیستند. مدل‌های کنترل موجودی و تولید با مفروضات متفاوت در خصوص به تعویق انداختن درصدی از سفارش‌ها در مقالات [۱۵، ص ۷۹؛ ١٦، ص ۱۹۸؛ ۱۷، ص ۱۰۷؛ ۱۸، ص۸] توسعه یافته‌اند. در این پژوهش‌ها مدل کنترل تولید و موجودی با توابع مختلف بی‌صبری برای مشتریان و با سیاست‌های مختلف برای تعیین درصد به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده، بررسی شده است. در این پژوهش‌ها درصد به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده به‌عنوان متغیر وابسته و یا پارامتر مشخص در شرایط تک محصولی مورد مطالعه و مدلسازی قرار گرفته شده است. بنابراین این مدل‌ها برای کنترل تولید و موجودی در شرایط بحران و کمبود موجودی مناسب نیستند.

برای مدلسازی سیستم‌های کنترل موجودی و تولید در شرایط واقعی محدودیت‌های بسیاری وجود دارند که تصمیم‌گیری بهینه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محدودیت ظرفیت انبار و سطح خدمت‌دهی به مشتریان در تعیین سیاست بهینه سفارش‌دهی موجودی و برنامه‌ریزی تأمین تقاضای مشتریان نقش مهمی دارد. وجود بحران در تأمین تقاضای مشتریان، اهمیت این محدودیت‌ها را افزایش می‌دهد. در مقاله ایشی و نوس [۱۹، ص۱۷۰] محدودیت انبار به‌عنوان محدودیت سخت مدلسازی شده است. در این پژوهش علاوه بر هزینه‌های معمول همچون نگهداری سفارش، هزینه‌های کمبود نیز مد نظر قرار گرفته شده است. ژو و یانگ [۱۰] در مقاله خود به بررسی مدل کنترل تولید و موجودی در شرایط کمبود موجودی با محدودیت انبار پرداختند [۲۰، ص ۲۱۵]. در این پژوهش محدودیت انبار به صورت سخت مدلسازی شده است و ضمن فرض قطعی بودن پارامترها نوع مواد اولیه فاسدشدنی در نظر گرفته شده است. در این مقاله تقاضا نیز به صورت ثابت مدلسازی شده است. ژو و یانگ در مقاله خود به محدودیت انبار به‌عنوان یک عامل محدودکننده سطح موجودی پرداختند. در این مقالات مدل تولید و موجودی از نوع فروش از دست رفته با دو نوع انبار بوده و هزینه‌های مرتبط با کمبود و فروش از دست رفته در نظر گرفته شده است [۲۰، ص ۲۲۰]. در این مقاله همچنین نرخ تقاضا متغیر در نظر گرفته شده است. مقالات دیگری نیز با توجه به محدودیت‌هایی همچون انبار، محدودیت سطح خدمت و مفروضات متفاوت همچون

تورم به بررسی مدل‌های موجودی پرداخته‌اند که در آن تقاضای مشتریان متغیر در نظر گرفته شده است [۲۱، ص۱٤۳۳؛ ۲۲، ص ۱۲۷؛ ۲۳، ص ۵۹؛ ۲٤، ص۱۲۰]. در مقاله بونیا و همکارانش[۱۱]، مدل کنترل موجودی در شرایط کمبود نیز مطالعه شده است [۲۵، ص ۱۱۲۵]. این مقاله با در نظر گرفتن دو نوع انبار موجودی (انبار متعلق به سازمان و اجاره‌ای) سعی کرده است که کمبود موجودی را با تعیین درصدی از سفارش‌ها به‌عنوان فروش از دست رفته مدیریت کند. البته این درصد در مقاله حاضر متأثر از زمان انتظار در نظر گرفته شده است. برای بررسی صحت مدل، دو مثال عددی ایجاد شده از سوی محقق حل شد. فتاحی، حاجی‌پور و نوبری در مقاله خود به مدیریت کمبود موجودی با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و سطح ذخیره انبار پرداختند [۲٦، ص ۲۱٦]. در این پژوهش متغیرهای تصمیم‌گیری میزان سفارش و نقطه سفارش مجدد بوده و سعی در کاهش هزینه‌های موجودی دارد. در این پژوهش فرض شده است که سفارش‌های تأمین نشده به تعویق می‌افتد و فروش از دست رفته نخواهیم داشت. مدل مقدار اقتصادی سفارش با محدودیت های سطح خدمت، تقاضای متغیر در حالت ترکیبی پس‌افت و فروش از دست رفته نیز از سوی رانگ و مایتی[۱۲] مورد بررسی قرار گرفت [۲۷، ص۵۲۳۰]. در این پژوهش نیز میزان پس‌افت مشخص و ثابت بوده و مدل ارائه شده سعی در کاهش هزینه‌های موجودی دارد. صحت این مدل با استفاده از مثال عددی مورد بررسی قرار گرفت. مدل ترکیبی پس‌افت و فروش از دست رفته با درصد ترکیب از قبل مشخص شده نیزاز سوی سان‌جوز و همکارانش[۱۳] شد [۲۸، ص ۱٤۷]. در این پژوهش برای هزینه‌های نگهداری کالا در انبار تابع غیر خطی در نظر گرفتن شده و صحت مدل با استفاده از مثال عددی بررسی شد. پژوهش مشابه با مفروضات متفاوت به بررسی مدل ترکیبی پس‌افت و فروش از دست رفته پرداخته است [۲۹، ص ۱۹٤]. در این پژوهش نیز درصد به تعویق انداختن مشتریان به‌عنوان پارامتر مشخص و شرایط تقاضای متغیر و تک‌محصولی مدلسازی شده است. این مطالعات محدودیت‌های ظرفیت انبار و سطح خدمت را به صورت جداگانه در نظر گرفته‌اند. از آن جایی که محدودیت ظرفیت انبار موجب کاهش سطح خدمت می‌شود و کاهش سطح خدمت مطلوب سازمان نیست، از این رو در نظر گرفتن محدودیت حداقل سطح خدمت همراه با محدودیت ظرفیت انبار منطقی و مطلوب است. کمبود موجودی و بحران در تأمین تقاضای مشتریان اهمیت مدلسازی همزمان این دو محدودیت را تشدید می‌کند، زیرا که به دلیل کاهش موجودی سطح خدمت مشتریان کاهش پیدا کرده و از طرف دیگر خرید موجودی بیش از محدودیت انبار امکانپذیر نمی‌باشد. از این

رو در این پژوهش سعی می‌شود محدودیت‌های تأثیرگذار همچون انبار و سطح خدمت در مدل در نظر گرفته شود. جدول ۱ مقالات بررسی شده در بالا را به‌صورت شفاف و جامع بررسی و مورد مقایسه قرار داده است.

جدول ۱ مقایسه پژوهش‌های مدلسازی بررسی تولید و موجودی

پژوهش	فروش از دست رفته	حالت پس افت	تقاضای متغیر	شرایط چند محصولی	سطح خدمت مشتریان	محدودیت انبار
[٣]	✓	✓	✓			
[٤]	✓	✓	✓		✓	
[٥]	✓	✓	✓			
[٦؛ ٧؛ ٨؛ ٩؛ ١٢؛ ١٣؛ ١٥؛ ١٦؛ ١٨؛ ٢٢]	✓	✓	✓			
[١٠]	✓	✓				✓
[١١]	✓	✓	✓	✓		
[١٤]	✓	✓	✓			✓
[١٧]	✓	✓	✓			✓
[١٩]	✓		✓			✓
[٢٠]			✓			✓
[٢٣]	✓	✓	✓			✓
[٢٤]	✓	✓	✓		✓	
[٢٥]	✓	✓	✓			✓
[٢٦]		✓	✓			✓
[٢٧]	✓	✓	✓		✓	
[٢٨]	✓	✓	✓			✓
[٢٩]	✓	✓	✓			

مطالعه پیشینه پژوهش در خصوص مدل‌های تولید و موجودی نشان می‌دهد که میزان به تأخیر انداختن سفارش‌های تأمین نشده به‌عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری مستقل مدلسازی نشده

است. این در حالی است که در شرایط بحران، تصمیم‌گیری در خصوص میزان به تأخیر انداختن و یا فروش از دست رفته خود یک متغیر تصمیم‌گیری مهم است که نمی‌توان آن را از قبل مشخص شده در نظر گرفت. تصمیم گیری نکردن بهینه درخصوص میزان سفارش‌های معوق شده و فروش از دست رفته در سیستم کنترل تولید و موجودی در شرایط بحران، قدرت تصمیم‌گیری سازمان را کاهش می‌دهد و ممکن است نتواند منجر به بهینه‌گی هزینه‌های سازمان شود. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که شرایط چند محصولی بودن تولید، محدودیت انبار و حداقل سطح خدمت به مشتریان به‌صورت یکپارچه مدلسازی نشده است، هر چند پژوهش‌ها به صورت جداگانه این شرایط را مدلسازی کرده‌اند. برای تصمیم‌گیری در خصوص میزان تولید و سفارش موجودی در شرایط بحران مطلوب‌تر است که محدودیت‌های تأثیرگذار به‌صورت یکپارچه مدلسازی شوند. با توجه به موارد بالا، این پژوهش مدلی را ارائه می‌دهد که بتواند پاسخ بهینه را در وضعیت بحران داشته باشد، به‌طوری که :

۱) تولید و بررسی و نظارت موجودی ترکیبی است؛

۲) فروش از دست رفته وجود دارد؛

۳) پس افت در حالت چند محصولی با محدودیت‌های انبار و سطح خدمت در نظر گرفته شده است. همچنین در مدلسازی حاضر میزان به تأخیر انداختن سفارش‌های تأمین نشده به‌عنوان متغیر تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از بعد هدف توسعه‌ای می‌باشد که سعی در حل یک مسئله متداول در محیط کار داشته و موجب بهبود درک نسبت به مسئله فراروی سازمان و مدیریت در شرایط بحران کمبود موجودی می‌شود و همچنین به یافته‌های حاصل از این پژوهش در ایجاد دانش و در حوزه مرتبط با مدیریت تولید و نظارت موجودی کمک می‌کند. این پژوهش از لحاظ محیط پژوهش شبه آزمایشی[۱٤] می‌باشد، به‌طوری که سعی می‌شود با استفاده از مطالعات قبلی فضای کاری شبیه‌سازی شود. براساس بررسی مستندات قبلی در حوزه مدیریت تولید و موجودی و محیط صنعتی، مفروضات، محدودیت‌ها و شرایط مدلسازی ریاضی مشخص می‌شوند. برای ارزیابی مدل ارائه شده نیازمند حل مدل می‌باشیم. از آن جایی که مدل نظارت

تولید و موجودی جزو مدل‌های NP-HARD می‌باشد، بنابراین در این مقاله از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. برای کدنویسی جواب مسئله از روش کدنویسی مستقیم و برای حل مدل نیز از مثال‌های عددی استفاده می‌شود. از آن جایی که برای محقق دسترسی به اطلاعات مدیریت تولید و موجودی یک سازمان واقعی بسیار سخت بود، از این رو از مثال عددی تولید شده به‌وسیله محقق استفاده شد. هدف از حل مدل ریاضی با استفاده از مثال‌های عددی تولید شده نیز بررسی صحت مدل ریاضی و بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک است.

۴- مدل ریاضی بررسی و نظارت موجودی و تولید در شرایط بحران

در این مقاله مدل کنترل تولید و موجودی در شرایط بحران ناشی از کمبود موجودی مدلسازی می‌شود. در نظر گرفتن واقعیت‌های موجود در فرایندهای تولیدی، از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی است که می‌تواند یک مدل طراحی شده را برای مهندسان و مدیران قابل استفاده کند. در این مقاله سعی شده است به این موضوع مهم توجه جدی شود. از این رو برای طراحی مدل پیشنهادی فرض شده است که سازمان در شرایط بحران ناشی از کمبود موجودی برای تولید محصولات از دو سیاست فروش از دست رفته و یا به تعویق انداختن تقاضای مشتریان می‌تواند استفاده کند. در این مدل نرخ/ درصد به تعویق انداختن سفارش‌ها به‌عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. لذا در این مدل پیشنهادی، مقدار بهینه این نرخ با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها تعیین می‌شود. مدل موجودی بررسی مستمر (R&Q) برای تولیدات چند محصولی و ترکیبی از حالت‌های فروش از دست رفته و به تعویق انداختن سفارش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مدل پیشنهادی دو محدودیت در نظر گرفته شده است:

۱) محدودیت ظرفیت انبار

۲) محدودیت حداقل سطح خدمت[۱۵]

در مدلسازی ریاضی مسئله بررسی شده، مقدار سفارش (Q)، نقطه سفارش مجدد (r) و نرخ به تعویق انداختن سفارش‌ها (α) به‌عنوان متغیرهای تصمیم بوده و برای حل مدل ارائه شده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. وجه تمایز این مقاله با مطالعات قبلی شامل موارد زیر است:

۱.مدل ارائه شده ترکیبی از حالت فروش از دست رفته و پس‌افت در شرایط چند محصولی

است؛

۲. محدودیت‌ها حداقل سطح خدمت به مشتریان و ظرفیت انبار به‌صورت همزمان در نظر گرفته شده است؛

۳. در مدلسازی شرایط بحران و احتمال کمبود موجودی برای تولید محصولات در نظر گرفته شده است؛

٤. برای کمینه‌سازی هزینه تولید و موجودی «نرخ به تعویق انداختن سفارش‌های تأمین نشده مشتریان» به صورت متغیر تصمیم‌گیری مدلسازی شده است.

۴-۱- مفروضات مدل پیشنهادی

در طراحی مدل پیشنهادی این مقاله فرضیه‌های زیر در نظر گرفته شده است.

- تقاضای مشتریان دارای توزیع نرمال است؛
- احتمال کمبود موجودی و ایجاد شرایط بحران وجود دارد؛
- افق برنامه‌ریزی محدود می‌باشد؛
- سفارشات دارای حالت چند محصولی است؛
- تقاضاهای مشتریان مستقل از هم هستند؛
- زمان تأخیر ثابت و مشخص است؛
- به‌دلیل وجود بحران در تأمین مواد اولیه و یا محدودیت در نگهداری مناسب ماشین‌آلات قسمتی از سفارشات به تعویق انداخته می‌شود که نرخ آن α فرض می‌شود؛
- به اندازهٔ $(1-\alpha)$ نرخ فروش از دست رفته برای سفارشات می‌باشد؛
- هزینه سفارش ثابت و مستقل از میزان سفارش می‌باشد؛
- هزینه نگهداری به‌صورت تابع خطی می‌باشد؛
- هزینه تأخیر در تحویل برای هر محصول ثابت بوده و طول زمانی که سفارش به تأخیر می‌افتد، در این هزینه در نظر گرفته نمی‌شود؛
- هزینه فروش از دست رفته شامل هزینه از دست رفتن اعتبار سازمان و مقدار سود از دست رفته است.

در این مجموعه مفروضات، با توجه به ساختار مدلسازی، متغیر تصمیم‌گیری به تعویق

انداختن قسمتی از سفارشات تأمین نشده، شرایط بحران، شرایط چند محصولی و محدودیت حداقل سطح خدمت به مشتریان شرایط جدیدی است که در پژوهش‌های مشابه قبلی مورد بررسی قرار گرفته نشده است.

۴-۲- متغیرهای استفاده شده در مدل پیشنهادی

N: تعداد محصولات ($i = ۱, ۲, \ldots, n$)

Q_i: مقدار سفارش برای محصول i (متغیر تصمیم)

r_i: نقطه سفارش مجدد برای محصول i (متغیر تصمیم)

α_i: درصدی از تقاضای به تأخیر افتاده در شرایط بحران کمبود موجودی برای محصول i که باید تأمین شود (متغیر تصمیم).

S_i: قیمت فروش محصول i

C_i: قیمت تمام شده محصول i

A_i: هزینه سفارش برای محصول i

h_i: هزینه نگهداری سالیانه برای واحد محصول

®_i: هزینه نگهداری به ازای هر محصول i به تأخیر افتاده که مستقل از زمان می‌باشد.

$\text{®}'_i$: هزینه بی‌اعتباری در شرایط بحران موجودی برای هر واحد فروش از دست رفته محصول i

$\text{®}''_i$: هزینه فروش ازدست رفته در شرایط بحران موجودی که شامل سود از دست رفته و هزینه بی‌اعتباری برای محصول i می‌باشد ($\text{®}''_i = \text{®}'_i + S_i - C_i$)

D_i: تقاضا برای محصول i در یک سال

M_i: میانگین تقاضا در مدت زمان تأخیر برای محصول i

M_{Li}: میانگین تقاضا در مدت زمان تأخیر برای محصول i

$\bar{b}_{(ri)}$: میانگین کمبود برای محصول i در یک سال

$\bar{I}_I$: میانگین موجودی برای محصول i در یک سال

W_i: ظرفیت انبار برای محصول i

W: ظرفیت کل انبار

پژوهش‌های مدیریت در ایران ـــ

: درصدی که در شرایط بحران موجودی به‌عنوان حداقل متوسط سطح خدمات برای همه محصولات از سوی مدیریت تعیین می‌شود.

$f(x_i)$: تابع تقاضا برای محصول i در مدت زمان تأخیر

TC: تابع هزینه کل سالیانه برای حالت به تعویق انداختن سفارشات تأمین نشده

TC': تابع هزینه کل سالیانه برای حالت فروش از دست رفته

TC'': تابع هزینه کل سالیانه در شرایط بحران موجودی

X_i: متغیر تقاضای احتمالی در مدت زمان تأخیر

۴-۳- توابع هزینه

با توجه به مفروضات مدلسازی برای محاسبه تابع هزینه کل سالیانه در حالت به تعویق انداختن قسمتی از سفارشات تأمین نشده هزینه‌های سفارش، نگهداری و کمبود به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۰، صص ۸۶ و ۸۷].

هزینه سفارش سالیانه:

$$TA = \sum_{i=1}^{n} \frac{Di}{Qi} Ai; \qquad i = 1,...,n. \tag{1}$$

هزینه نگهداری سالیانه:

$$TH = \sum_{i=1}^{n} h_i \bar{I}_i .1; \qquad i = 1,...,n. \tag{2}$$

هزینه کمبود سالیانه:

$$TS = \sum_{i=1}^{n} ®_i \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i); \qquad i = 1,...,n. \tag{3}$$

متوسط کمبود در طول یک سال [۳۰، ص ۳۲۸]:

$$\bar{b}(r) = \int_{r}^{\infty} (x - r) f(x) d_x; \qquad i = 1,...,n. \tag{4}$$

هزینه کل سالیانه در حالت به تعویق انداختن سفارشات تأمین نشده به‌صورت زیر است [۳۰، ص ۳۳۳].

محمد اکبری ـــ

$$TC = \sum_{i=1}^{n} \frac{Di}{Qi} Ai + \sum_{i=1}^{n} h_i (r_i - \alpha_{Li} + \frac{Q_i}{2}) + \sum_{i=1}^{n} \beta_i \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i); \quad i = 1,...,n. \qquad (5)$$

و هزینه کل سالیانه در حالت فروش از دست رفته به‌صورت زیر است [۳۰، ص ۳۳۵].

$$TC' = \sum_{i=1}^{n} \frac{Di}{Qi} Ai + \sum_{i=1}^{n} h_i (r_i - \alpha_{Li} + \bar{b}(r_i) + \frac{Q_i}{2}) + \sum_{i=1}^{n} \beta_i' \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i); \quad i = 1,...,n. \qquad (6)$$

در مدل ترکیبی فروش از دست رفته و پس‌افت، هزینه کل، αi درصد از هزینه کل در شرایط پس‌افت و $1-\alpha i$ درصد از هزینه کل در شرایط فروش از دست رفته است. بنابراین تابع هزینه کل در شرایط بحران موجودی به شرح زیر می‌باشد.

$$TC' = \gamma_i TC + (1-\gamma_i) TC' \qquad 0 \le \gamma_i \le 1; \quad i = 1,...,n \qquad (7)$$

$$TC'' = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i (\frac{Di}{Qi} Ai + h_i (r_i - \alpha_{Li} + \frac{Q_i}{2}) + \beta_i \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i)) + \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n} (1-\gamma_i)(\frac{Di}{Qi} Ai + h_i (r_i - \alpha_{Li} + \bar{b}(r_i) + \frac{Q_i}{2}) + \beta_i'' \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i)) =$$

$$\sum_{i=1}^{n} (\frac{Di}{Qi} Ai + h_i (r_i - \alpha_{Li} + \frac{Q_i}{2}) + (1-\gamma_i) h_i \sum_{i=1}^{n} \bar{b}(r_i) +$$

$$\sum_{i=1}^{n} (\gamma_i \beta_i + (1-\gamma_i)\beta_i'') \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i)); \quad i = 1,...,n.$$

۴-۴- فرمول ریاضی مدل پیشنهادی

در این مقاله مسئله کنترل موجودی و تولید ارائه شده شامل دو محدودیت مرتبط و واقعی است:

۱. محدودیت ظرفیت انبار

۲- محدودیت حداقل سطح قابل قبول برای ارائه خدمت

محدودیت‌های مسئله با ساختار ریاضی به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\sum_{i=۱}^{n} w_i Q_i \le W; \quad i = ۱,\dots,n. \tag{۹}$$

$$\frac{\sum_{i=۱}^{n} F(r_i)}{n} \ge ^{-}; \quad i = ۱,\dots,n. \tag{۱۰}$$

با توجه به تعریف مسئله، هدف مدل پیدا کردن مقادیر بهینه تعداد سفارش تولید (Q_i)، نقطه سفارش مجدد (r_i) و درصد به تعویق انداختن سفارش تأمین نشده به دوره تولید بعدی (α_i) است؛ به‌گونه‌ای که هزینه سالیانه برای سیستم موجودی (معادله شماره ۸) کمینه‌سازی شود. متغیر تصمیم‌گیری مقدار سفارش و نقطه سفارش مجدد متغیرهای عدد صحیح، مثبت و مخالف صفر و متغیر α_i عددی صحیح بین صفر و یک است. با توجه به تعریف هزینه‌ها و محدودیت‌ها، مدل ریاضی مسئله کنترل موجودی و تولید در شرایط بحران موجودی به‌صورت زیر می‌باشد.

(۱۱)

$$MIN \quad TC'' = \sum_{i=۱}^{n} \left(\frac{Di}{Qi} Ai + h_i \left(r_i - \ll_{l_i} + \frac{Q_i}{۲} \right) + (۱ - \sim_i) h_i \bar{b}(r_i) + (\sim_i \circledR_i + (۱ - \sim_i) \circledR'_i) \frac{D_i}{Q_i} \bar{b}(r_i) \right)$$

$$s.t. \qquad \sum_{i=۱}^{n} w_i Q_i \le W \qquad i = ۱,۲,\dots, n$$

$$\frac{\sum_{i=۱}^{n} F(r_i)}{n} \ge ^{-} \qquad i = ۱,۲,\dots, n$$

$$Q_i, r_i : \ Integer \qquad , \qquad ۰ \le \sim_i \le ۱$$

در این مقاله به‌منظور حل مدل ارائه شده، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک ارائه و عملکرد آن به‌صورت عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۵- الگوریتم ژنتیک

مدل پیشنهاد شده در این مقاله از نوع مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح و غیر خطی می‌باشد و ویژگی آن موجب می‌شود تا نتوان برای یافتن جواب بهینه نهایی از روش‌های دقیق و کلاسیک استفاده کرد [۱۹، ص ۱۷۰]. از این رو برای غلبه بر پیچیدگی مسئله و یافتن جواب رضایت‌بخش از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. بررسی ادبیات الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که این الگوریتم در بین الگوریتم‌های فراابتکاری از کارایی بالایی در حل نمونه مسئله ارائه شده برخوردار است [۳۱، ص ۱۵٤].

الگوریتم ژنتیک فرایند جستجوی احتمالی برای بهینه‌سازی است که بر مبنای سازوکار انتخاب

طبیعی توسعه پیدا کرده است. در این بهینه‌سازی هر نفر از جمعیت نشان‌دهنده یک جواب برای مسئله مورد بررسی است که کروموزوم نامیده می‌شود. کروموزم در یک فرایند تکراری متوالی که تولید نسل نامیده می‌شود، رشد پیدا می‌کند. در هر پیدایش نسل جدید، کروموزوم از سوی عملگرهای تقاطع و جهش شکل جدیدی به خود گرفته و از سوی تابع برازش ارزیابی می‌شود. در طول فرایند زایش نسل‌ها با توجه به تابع برازش کروموزوم‌ها به سمت بهترین کروموزوم همگرا شده و درنهایت این بهترین کروموزوم به‌عنوان جواب مسئله مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

۵-۱- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

به‌منظور اجرای الگوریتم ژنتیک برای مسئله ارائه شده، نیازمند تعریف پارامترهای الگوریتم می‌باشیم. این پارامترها عبارتند از اندازه جمعیت[۱۶]، نرخ تقاطع[۱۷]، نرخ جهش[۱۸] و تعداد زایش نسل‌ها[۱۹]. اندازه جمعیت به فضای جواب موجه بستگی دارد که به‌طور معمول به تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری وابسته است [۲۱، ص ۱٤٤۰]. نرخ تقاطع، p_c، نسبتی از جمعیت کرموزوم‌ها است که در فرایند رشد نسل‌ها باید از سوی عملگر تقاطع بهبود پیدا کند و نرخ جهش، p_m، نیز نسبتی از جمعیت کروموزوم‌ها است که باید از سوی عملگر جهش بهبود یابد. (p_m+p_c)-۱ درصد از جمعیت نیز به‌عنوان بهترین کروموزوم‌ها بدون تغییر به دوره بعدی انتقال پیدا می‌کند. این مقاله تعداد نسله‌ای ایجاد شده به‌عنوان معیار توقف فرایند بهبود مجموعه جواب‌های مسئله در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش پارامترهای الگوریتم ژنتیک به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

POPSIZE = ۳۰۰; p_c = ۰/۷; p_m = ۰/۰۳; NUMGEN= ۳۰;

۵-۲- نمایش ریاضی کروموزوم

در پیشینه پژوهش دو روش برای نشان دادن کروموزوم وجود دارد:

۱- کدنویسی مستقیم؛

۲- کدنویسی غیر مستقیم.

در این پژوهش از کدنویسی مستقیم به‌صورت ماتریسی با N ستون و سه ردیف (شکل ۱) استفاده شد. ردیف اول ماتریس Q_i، ردیف دوم r_i، و ردیف سوم ماتریس $\sim_i$ را برای تمام سفارش‌ها نشان می‌دهد. هر یک از ستون‌های ماتریس نشان‌دهنده نوع محصول می‌باشد.

$$\begin{matrix} & 1, 2 \ \ldots \ N \\ Q_i & \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & \ldots & Q_n \end{bmatrix} \\ r_i & \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \ldots & r_n \end{bmatrix} \\ \sim_i & \begin{bmatrix} \sim_1 & \sim_2 & \ldots & \sim_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۱ نمایش جواب مسئله به‌صورت کروموزوم

۵-۳- جمعیت اولیه کروموزوم‌ها

در این فرایند یک گروه از کروموزوم‌ها به‌صورت تصادفی و با توجه به محدودیت‌های مدل تولید می‌شود. در فرایند تولید ماتریس جواب مسئله، سطر اول و دوم با توجه به محدودیت‌های مدل تولید شده و اعداد تولید شده عدد صحیح می‌باشند. ردیف سوم از این قاعده مستثنا بوده و عددی بین صفر و یک می‌باشد.

۵-۴- ارزیابی مجموعه جواب‌های مسئله

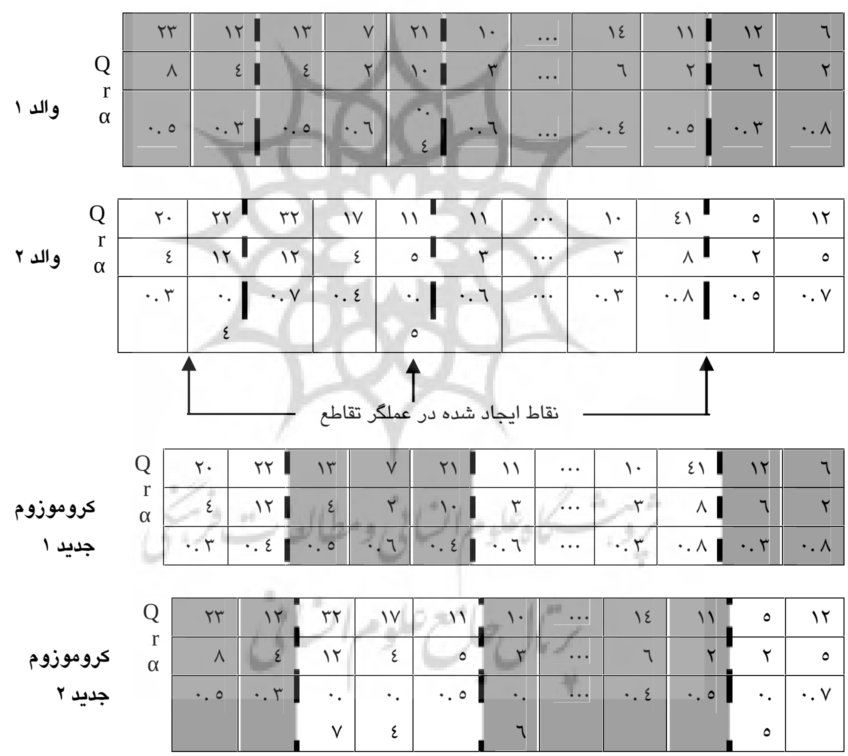
در الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی میزان تناسب کروموزوم‌ها نیازمند تابع برازش[۲۰] هستیم. از آن جایی که مدل کنترل موجودی و تولید ارائه شده محدودیت دارد، ممکن است جواب‌های مسئله در طول فرایند بهبود در ناحیه غیر موجه قرار گیرد. از این رو به منظور کنترل مکانیسم جستجو، از سیاست تابع جریمه استفاده می‌شود [۳۱، ص ۱۵٤]. در این مقاله تابع جریمه به‌صورت مثبت و ضریب ثابت و مشخصی از انحراف، از محدودیت‌های ظرفیت انبار و سطح خدمت در نظر گرفته شده است. بنابراین با توجه به اندازه انحراف کروموزوم از محدودیت‌ها، اندازه جریمه نیز افزایش پیدا کرده و با قرار گرفتن کروموزوم در فضای موجه میزان جریمه نیز صفر می‌شود.

۵-۵- فرایند انتخاب

در این مقاله به‌منظور انتخاب کروموزوم برای عملگرهای ژنتیک از روش چرخ رولت[۲۱] استفاده شده است. در این فرایند کروموزم‌ها به‌صورت نزولی مرتب شده، سپس احتمال تجمعی هر یک از کروموزوم ها، cp_c محاسبه می‌شود. دو عدد تصادفی بین صفر و یک ایجاد و دو کروموزوم متفاوت، C_1 و C_2، انتخاب می‌شود.

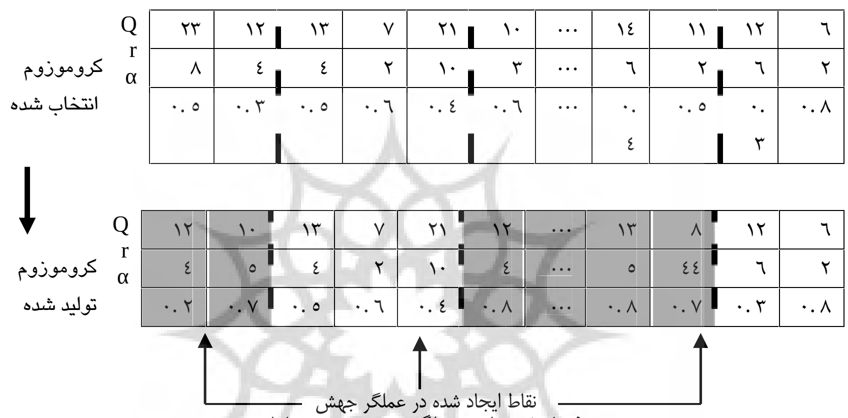
۵-۶- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

در این پژوهش به‌منظور تولید کروموزم‌های جدید از والدین انتخاب شده، از عملگر تقاطع چند نقطه‌ای استفاده شده است. نتایج تحقیق اکبری و همکاران نشان داده است که عملگر تقاطع چند نقطه‌ای برای ایجاد کروموزوم‌های مطلوب‌تر و رسیدن به جواب بهینه، کارا می‌باشد [۳۲، ص ۱۰۲۲]. در این روش بعد از انتخاب دو کروموزوم به‌عنوان والدین، سه نقطه در طول کروموزوم‌ها به‌طور تصادفی انتخاب و ژن‌های احاطه شده بین نقاط برای والدین جابه‌جا می‌شود. فرایند عملگر تقاطع چند نقطه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ فرایند عملگر تقاطع چند نقطه‌ای

از آن جایی که با استفاده از عملگر جهش این امکان فراهم می‌شود که به‌طور تصادفی فضای بیشتری از مجموعه جواب‌ها بررسی شود،از این روی در فرایند حاضر از عملگر جهش چند نقطه‌ای برای تولید کروموزوم‌های جدید استفاده می‌شود. در این عملگر با انتخاب تصادفی سه نقطه در طول کروموزوم، ژن‌های احاطه شده بین این نقاط با ژن‌های جدید جابه‌جا می‌شوند. فرایند عملگر جهش در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ فرایند عملگر جهش چند نقطه‌ای

۶- مثال عددی

در این بخش برای نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی و حل آن با استفاده الگوریتم ژنتیک از یک مثال عددی استفاده می‌شود. به این منظور الگوریتم با استفاده از نرم‌افزار مطلب[۲۲] برنامه‌نویسی شده است. داده‌های مثال در جدول ۱ نشان داده شده و مقادیر W، ‾ ، N و POPSIZE به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۰.۸۰، ۱۰ و ۲۰۰ است. بعد از اجرای الگوریتم ژنتیک و ۳۰ بار تولید نسل فرایند بهبود به همگرایی رسید. جواب نهایی الگوریتم در شکل ٤ نشان داده شده است.

محمد اکبری ـــ

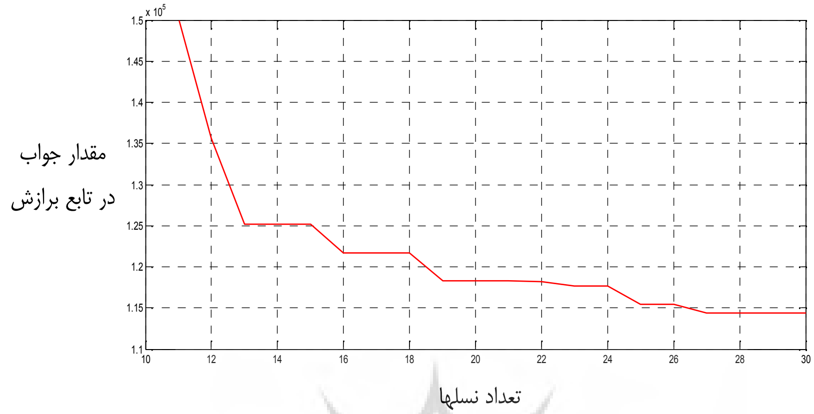
جدول ۱ داده‌های مثال عددی برای مسئله کنترل موجودی و تولید

D_i	w_i	A_i	h_i	®_i	$\text{®}_i''$	c_i	s_i	$\pm_i$	$\ll_i$	محصول
۱۰۰۰	۲	۱۰۰۰	۳	۱۰۰	۱۰	۳۵۰	۵۰۰	۱۲	۵۰	۱
۱۵۰۰	۳	۱۱۰۰	٤	۱۲۰	۲۰	۳۰۰	٤۰۰	۱٤	۵۵	۲
۲۰۰۰	۲.۲	۱۰۵۰	٤	۱۱۰	۱۲	۲۰۰	۳۹۰	۱۱	۵٦	۳
۱۱۰۰	۲.۱	۱۰٦۰	٦	۹۰	۱۱	۳۵۰	٤۸۰	۲۲	٤۵	٤
۱۲۰۰	٤	۱۱۱۰	۵	۸۰	۱۰	۳۲۰	٤۵۰	۲۱	٦۱	۵
۱۰۰۰	۲	۱۲۰۰	۱۲	۹۵	۱۰	۳۳۰	٤۹۰	۱۵	۵۱	٦
۳۰۰۰	۱	۱۰۰۰	۹	۱۰۲	۸	۲۲۰	۳۹۰	۱۷	٤٤	۷
۵۰۰۰	۳.۱	۲۰۰۰	۸	۱۰۵	۸	۲۰۰	۳٤۰	۱٦	٦۰	۸
٤۰۰۰	۲.۵	۱٤۰۰	۹	۷۰	۹	۲۲۰	۳۵۰	۲۱	٦۸	۹
۳۵۰۰	۲.۷	۹۰۰	٦	٤۰	۸	۲۱۸	۳٤۰	۱۹	۷۰	۱۰

٤٦۸	۵۰۹	۲۷۹	۵٦۸	۳۱۵	۳۰۹	۲۹۵	٤۹۲	٤۹۵	۳۱۷
۲۵۵	۹۵	۲۵۳	۲۰۸	۱۱۳	۲٤۷	۲۳۹	۳۰۳	۲۱۹	۲۰۰
۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۸٦	۰/۳۳	۰/۲٤	۰/٦۹	۰/٦۳	/۱۸

شکل ۴ جواب نهایی الگوریتم ژنتیک

برای جواب به‌دست آمده سطح خدمات ۰. ۹۸۷ است که مقدار آن از حدود تعیین شده (¯) کمتر نیست و فضای استفاده شده از انبار نیز ۹٦۵۵ است که این مقدار نیز محدودیت ظرفیت انبار را نقض نکرده است. با توجه به فرایند بهبود جواب مشاهده شد که مجموعه جواب‌های الگوریتم محدودیت‌ها را نقض نکرده و بعد از گذشت زمان مجموعه جواب‌ها به سمت بهترین جواب همگرا شد. همگرایی و بهبود جواب در الگوریتم ژنتیک با توجه به تابع برازش در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ گراف بهبود جواب در الگوریتم ژنتیک

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعات گذشته با مفروضات متفاوت به بررسی مدل‌های تولید و موجودی در شرایط کمبود موجودی پرداخته‌اند. سیاست برخورد با این شرایط به صورت فروش از دست رفته، به تعویق انداختن سفارش و یا تلفیق این دو بوده است. در این مقاله با توجه به کمبودهای پژوهشی در خصوص به تعویق انداختن بهینه سفارشات با توجه به کمبود موجودی سعی شد تا مدلی ارائه شود که بحران کمبود موجودی به‌گونه‌ای بهینه مدیریت شود. مقالاتی که به بررسی این موضوع پرداخته اند، مقدار به تعویق انداختن سفارشات تأمین نشده را پارامتری مشخص و از پیش تعیین شده در نظر گرفته‌اند. از آن جایی که به تعویق انداختن و یا از دست دادن این‌گونه سفارشات بر هزینه سازمان تأثیرگذار است، بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که تعیین درصد به تعویق انداختن این سفارشات با توجه به وضعیت سازمان (همچون بحران ناشی از کمبود موجودی، ظرفیت انبار و سطح مطلوب خدمات سازمان) و هزینه‌های سیستم کنترل موجودی و تولید صورت گیرد. برای مدیریت تقاضای مشتریان و ارائه مدلی مناسب برای تأمین موجودی در شرایط بحران کمبود موجودی در این مقاله مدل ریاضی کنترل موجودی بررسی مستمر با متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار سفارش، نقطه سفارش مجدد و درصد به تعویق انداختن سفارشات تأمین نشده ارائه شد. با توجه به مقالات بررسی شده در این مقاله، محدودیت‌های

مهم و مرتبط با بحران کمبود موجودی شامل محدودیت انبار و حداقل سطح خدمت به مشتریان مدلسازی شد. به‌منظور ارائه مدل جامع‌تر، مدل کنترل تولید برای حالت چند محصولی و تقاضای مشتریان به صورت توزیع نرمال مدلسازی شده است. تابع هدف مدل ریاضی کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم کنترل موجودی و تولید می‌باشد. مدل ارائه برای مسئله مورد مطالعه مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی و از نوع NP-Hard بوده که با توجه به سخت بودن حل آن با استفاده از روش‌های دقیق بهینه‌سازی، از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. به‌منظور بررسی قابلیت کاربرد الگوریتم ژنتیک برای مسئله مورد بررسی، مثال عددی استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از حل مسئله نشان داد که الگوریتم ژنتیک قابلیت حل مسئله را دارد و در مدت زمان مناسب راه‌حل رضایت‌بخشی را ارائه می‌کند. همگرایی مجموعه جواب‌های الگوریتم نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ارائه شده توانایی مناسبی در جستجوی فضای موجه و دوری از فضای غیر موجه مسئله و درنتیجه پیدا کردن جواب رضایت‌بخش دارد. حل مثال عددی مسئله کنترل موجودی و تولید ارائه شده و جواب مدل ریاضی نشان داد که مدل ریاضی ارائه شده اعتبار داشته و در شرایط واقعی برای حل مسائل کنترل موجودی و تولید در شرایط بحران کمبود موجودی می‌توان از آن استفاده نمود. بنابراین نویسندگان این مقاله با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کنند که برای بهینه‌سازی تصمیم‌های مدیریتی در سیستم موجودی از مدل ارائه شده استفاده و هزینه‌های کنترل موجودی و تولید سازمان را در شرایط بحران کمینه کنند.

برای پیشنهادهای آینده در نظر گرفتن سایر محدودیت‌های واقعی سازمان همچون بودجه و سایر عوامل ایجاد بحران به‌منظور نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی و ارائه مدل جامع‌تر پیشنهاد می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Montgomery & et al.
2. Chu & et al., 2001
3. Wang
4. Teng & et al
5. Papachristos, S. and K. Skouri
6. Skouri and Papachristos
7. Zhou
8. Impatience function
9. San José, L. A., J. Sicilia, and J. García-Laguna
10. Zhou, Yang
11. A. K. Bhunia, Chandra K. Jaggi, Anuj Sharma, Ritu Sharma
12. Rong, Maiti
13. San-José, L. A., Sicilia, J., García-Laguna
14. Lab experiment
15. Mnimum of service level
16. population size (POPSIZE)
17. Crossover rate
18. Mutation rate
19. Number of generation (NUMGEN)
20. Fitness function
21. Roulette wheel
22. MATLAB

۹- منابع

[1] Yang G. K. (2007) "Note on sensitivity analysis of inventory model with partial backorders", *European Journal of Operational Research*, 177(2), pp. 865-871.

[2] San-José L. A., Sicilia J., García-Laguna J. (2007) "An economic lot-size model with partial backlogging hinging on waiting time and shortage period", *Applied Mathematical Modelling*, 31(10), pp. 2149-2159.

[3] Montgomery D. C., Bazaraa M. S., Keswani A. K. (1973) "Inventory models with a mixture of backorders and lost sales", *Naval Research Logistics Quarterly*, 20(2), pp. 255-263.

[4] Chu C. W. , Patuwo B. E., Mehrez A., Rabinowitz G. (2001) "A dynamic two-segment partial backorder control of (r,Q) inventory system", C*omputers & AMP*,

Operations Research, 28(10), pp. 935-953.

[5] Wang S. -P. (2002) "An inventory replenishment policy for deteriorating items with shortages and partial backlogging", Computers & amp, *Operations Research*, 29(14), pp. 2043-2051.

[6] Papachristos S., Skouri K. (2003) "An inventory model with deteriorating items, quantity discount, pricing and time-dependent partial backlogging", *International Journal of Production Economics*, 83(3), pp. 247-256.

[7] Papachristos S., Skouri K. (2000)" An optimal replenishment policy for deteriorating items with time-varying demand and partial–exponential type – backlogging", *Operations Research Letters*, 27(4), pp. 175-184.

[8] Teng J. T., Chang H. J., Dye. C. Y., Hung C. H. (2002) "An optimal replenishment policy for deteriorating items with time-varying demand and partial backlogging", *Operations Research Letters*, 30(6), pp. 387-393.

[9] Skouri K., Papachristos S. (2002) "A continuous review inventory model, with deteriorating items, time-varying demand, linear replenishment cost, partially time-varying backlogging", *Applied Mathematical Modelling*, 26(5), pp. 603-617.

[10] Zhou Y. -W. (2003) "A multi-warehouse inventory model for items with time-varying demand and shortages", *Computers & AMP*; *Operations Research*, 30 (14): pp. 2115-2134.

[11] San José L. A., J. Sicilia, García-Laguna J. (2005) "The lot size-reorder level inventory system with customers impatience functions", *Computers & AMP*, Industrial Engineering, 49(3), pp. 349-362.

[12] San José L. A., Sicilia J., García-Laguna J. (2006) "Analysis of an inventory system with exponential partial backordering", *International Journal of Production Economics*, 100(1), pp. 76-86.

[13] Chu P., Yang K. L., Liang S. K., Niu T. (2004) "Note on inventory model with a mixture of back orders and lost sales", *European Journal of Operational Research*, 159 (2), pp. 470-475.

[14] Dye C. -Y., Chang H. -J., Teng J. -T. (2006) "A deteriorating inventory model with time-varying demand and shortage-dependent partial backlogging", *European Journal of Operational Research*, 172 (2), pp. 417-429.

[15] Skouri K., Konstantaras I., Papachristos S., Ganas I. (2009) "Inventory models wsith ramp type demand rate, partial backlogging and Weibull deterioration rate", *European Journal of Operational Research*, 192 (1), pp. 79-92.

[16] Teng J. -T., Yang H. -L., Chern M. -S. (2011) "Economic order quantity models for deteriorating items and partial backlogging when demand is quadratic in time", *European Journal of Industrial Engineering*, 5(2), pp. 198-214.

[17] Yang H. -L. (2012) "Two-warehouse partial backlogging inventory models with three-parameter Weibull distribution deterioration under inflation", *International Journal of Production Economics*, 138(1), pp. 107-116.

[18] Yang H. -L., Teng J. -T., Chern M. -S. (2010) "An inventory model under inflation for deteriorating items with stock-dependent consumption rate and partial backlogging shortages", *International Journal of Production Economics*, 123(1), pp. 8-19.

[19] Ishii H., Nose T. (1996) "Perishable inventory control with two types of customers and different selling prices under the warehouse capacity constraint", *International Journal of Production Economics*, 44(1–2), pp. 167-176.

[20] Zhou, Y. W., Yang, S. L. (2005) " A two-warehouse inventory model for items with stock-level-dependent demand rate", *International Journal of Production Economics*, 95(2), pp. 215-228.

[21] Nachiappan S. P., Jawahar N. (2007) "A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain", *European Journal of Operational Research*, 182(3), pp. 1433-1452.

[22] Chern M. S., Yang H. L., Teng J. T., Papachristos S. (2008) " Partial backlogging inventory lot-size models for deteriorating items with fluctuating demand under inflation", *European Journal of Operational Research*, 191(1), pp. 127-141.

[23] M. Rong, Mahapatra N. K., M. Maiti (2008) "A two-warehouse inventory model for a deteriorating item with partially/fully backlogged shortage and fuzzy lead time", *European Journal of Operational Research*, 189(1), pp. 59-75.

[24] Chen Y. F., Krass D. (2001) " Inventory models with minimal service level constraints, *European Journal of Operational Research*, 134 (1), pp. 120-140.

[25] Bhunia A. K., Jaggi C. K., Sharma A., Sharma R. (2014) "A two-warehouse inventory model for deteriorating items under permissible delay in payment with partial backlogging", *Applied Mathematics and Computation*, 232 (1), pp. 1125-1137.

[26] Fattahi P., Hajipour V., Nobari A. (2015) "A bi-objective continuous review inventory control model: Pareto-based meta-heuristic algorithms", *Applied Soft Computing*, Vol. 32, pp. 211–223.

[27] Rong M., Maiti M. (2015) "On an EOQ model with service level constraint under fuzzy-stochastic demand and variable lead-time", *Applied Mathematical Modelling*, 39(17), pp. 5230–5240.

[28] San-José L. A., Sicilia J., García-Laguna J. (2015) "Analysis of an EOQ inventory model with partial backordering and non-linear unit holding cost", *Omega*, Vol. 54, pp. 147-157.

[29] San-José L. A., Sicilia J., García-Laguna J. (2014) "Optimal lot size for a production inventory system with partial backlogging and mixture of dispatching policies", *International Journal of Production Economics*, Vol. 155, pp. 194-203.

[30] Haj Shirmohammadi A. (2009) *Principles of production and inventory planning and control*, ARKAN-E-DANESH Press.

[31] Gen M., Cheng R. (1997) "*Genetic Algorithms and Engineering Design*, Wiley.

[32] Akbari M., Zandieh M., Dorri B. (2012) "Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(5), pp. 1017-1027.